



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**SIMULASI PEMISAHAN FLUIDA 2 FASA DI DALAM
COALESCER DENGAN MENGGUNAKAN *CFD***

TUGAS AKHIR

**M. ANDRIANTO ADITYA PUTRA
L2E 005 461**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : M. Andrianto Aditya Putra
NIM : L2E 005 461

Dosen Pembimbing : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT

Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan

Judul : SIMULASI PEMISAHAN FLUIDA 2 FASA DI
DALAM *COALESCER* DENGAN MENGGUNAKAN
CFD

Isi Tugas : 1. Untuk memisahkan air dari minyak dan mengetahui
berapa kandungan minyak (PPM) yang keluar dari
outlet air.
2. Untuk membandingkan beberapa model k-epsilon dan
k-omega yang tepat pada saat simulasi.

Semarang, 29 Maret 2011

Menyetujui,
Pembimbing I



Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT
NIP. 197104211999031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi/Tesis/Disertai ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

NAMA : M. Andrianto Aditya Putra

NIM : L2E 005 461

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : M. Andrianto Aditya Putra
NIM : L2E 005 461
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Simulasi Pemisahan Fluida 2 Fasa di Dalam
Coalescer Dengan Menggunakan *CFD*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT (



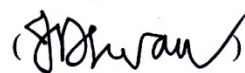
Penguji I : Dr. Achmad Widodo, ST



Penguji II : Muchammad, ST, MT

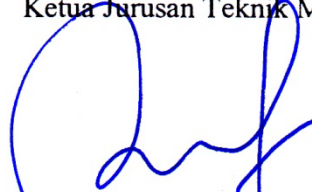


Penguji III : Dr. Joga Darma S., MSc



Semarang, 29 Maret 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Andrianto Aditya Putra
NIM : L2E 005 461
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“SIMULASI PEMISAHAN FLUIDA 2 FASA DI DALAM COALESCER DENGAN MENGGUNAKAN CFD”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 29 Maret 2011

Yang menyatakan



(M. Andrianto Aditya Putra)

ABSTRAK

Coalescer digunakan dalam beberapa aplikasi industri. Dalam kilang, *coalescer* digunakan dalam pemisahan larutan dari hidrokarbon seperti dalam pemisahan dispersi selama tahap pencucian. Dalam aplikasi lepas pantai *coalescer* digunakan untuk memisahkan air dari minyak dan juga untuk air dan gas alam glikol dari kondensat. Fungsi *coalescer* yaitu untuk memisahkan minyak dan air. Proses pemisahan *coalescer oil water separators* adalah air dan minyak masuk *separator* dan menyebar horizontal, didistribusikan melalui energi dan turbulensi akan menyebar ke perangkatnya. Air dan minyak memasuki *flopak media* dan fungsi *flopak media* yaitu untuk menyaring kotoran minyak dan air dan melaminarkan aliran fluida untuk mempercepat aliran fluida. Dalam penelitian ini, *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan untuk mengetahui berapa kandungan minyak yang keluar dari keluaran air. Simulasi ini dilakukan dengan memvariasikan jarak sekat di dalam *coalescer* yaitu sekat 1 inch, 1.2 inch, dan 1.5 inch. Hasil simulasi *coalescer* ini mendapatkan hasil kandungan minyak dalam ppm (part per million) yang paling sedikit yaitu pada sekat 1 inch yaitu 27.9 ppm. Semakin kecil jarak sekat didalam *coalescer* maka semakin kecil hasil kandungan minyak yang didapatkan karena minyak akan menempel di *flopak media* dan akan menghambat aliran minyak karena pengaruh *viskositas*.

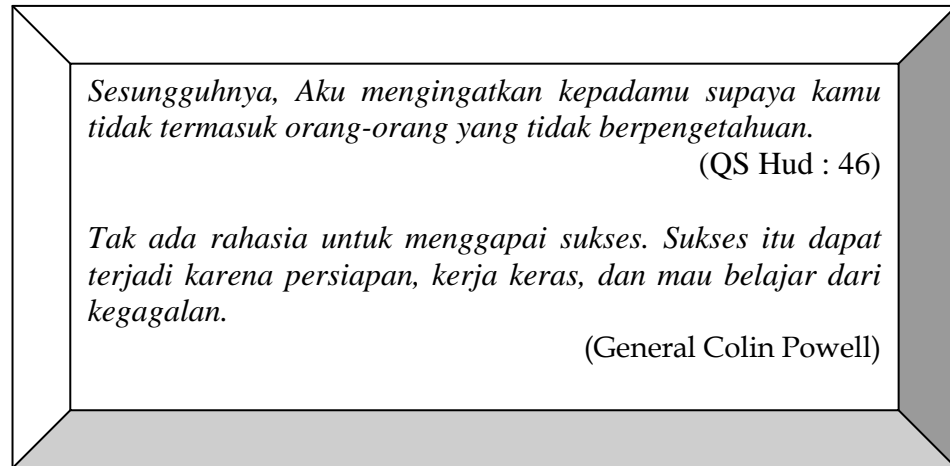
Kata kunci : *Coalescer*, *flopak media*, jarak sekat didalam *coalescer*, *viskositas*

ABSTRACT

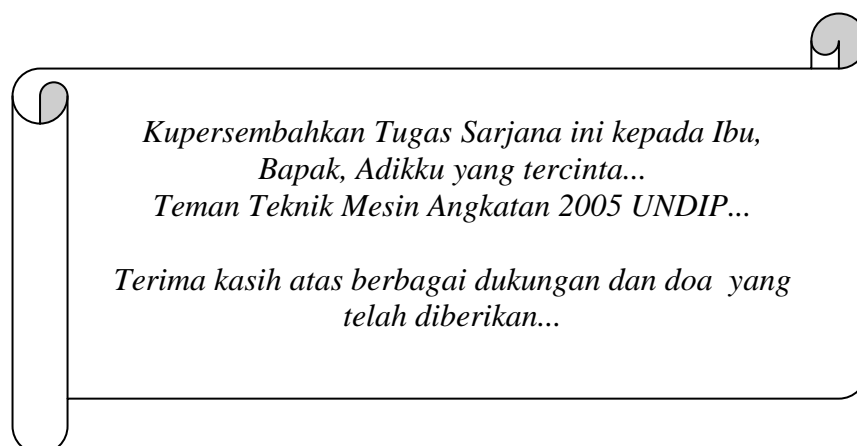
Coalescer is used in several industrial applications. In refineries, coalescer used in the separation of hydrocarbon solution such as the separation of the dispersion during the washing stage. In the offshore applications coalescer is used to separate water from oil and natural gas for water and glycol from the condensate. Coalescer is used to separate oil from water and all mixture. In the process of separation of oil water coalescer separators water and oil flow into the separator and spread horizontally, distributed through the energy and turbulence would spread to the device. Water and oil entering flopak media, flopak media filter out dirt oil and water and serves to accelerate the flow. In this study, Computational Fluid Dynamics (CFD) is used to determine how much oil content out of the water output. The simulation was done by varying the distance bulkhead in the coalescer is 1 inch, 1.2 inch and 1.5 inch. The simulation results of this coalescer shows that the oil content in ppm (parts per million), which is at least 1 inch bulkhead, is 27.9 ppm. The smaller the distance bulkhead inside the coalescer, the smaller the oil content is obtained because the oil will stick in the flopak media and will inhibit the flow of oil due to the influence of viscosity.

Keywords : Coalescer, flopak media, the distance bulkhead in coalescer, viscosity

MOTTO



PERSEMBAHAN



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul *“SIMULASI PEMISAHAN FLUIDA 2 FASA DI DALAM COALESCER DENGAN MENGGUNAKAN CFD”*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Koordinator Tugas Akhir.
2. Dr.Ir.Dipl.Ing. Berkah Fajar T K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, 29 Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI


JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
MOTTO dan PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
NUMENKLATUR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Metodologi Penelitian	5
1.5. Sistematika Penulisan	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1. Klasifikasi Aliran	7
2.1.1 Aliran <i>Invicid</i> dan <i>Viscous</i>	8
2.1.2 Aliran Laminar dan Turbulen	9
2.1.3 Aliran Kompresibel dan Inkompresibel	10
2.1.4 Aliran Internal dan Eksternal	10
2.1.5 Aliran 2 Fasa	11
2.2. Persamaan Dasar Aliran Fluida	11
2.2.1 Persamaan Kekekalan Massa	11
2.2.2 Persamaan Kekekalan Momentum	14
2.2.3 Persamaan Navier-Stokes untuk Sebuah Fluida Newtonian	18

2.3. Bilangan Reynolds.....	21
2.4. Coalescer	21
2.5. Design coalescer	23
BAB III METODA VOLUME HINGGA DALAM FLUENT 6.2.16 Dan PERMODELAN SIMULASI.....	27
3.1. Fluent	27
3.2. Skema numerik	30
3.2.1 Metode Solusi <i>Segregated</i>	30
3.2.2 Metode solusi <i>Coupled</i>	31
3.3. Diskritisasi (<i>Discretization</i>)	32
3.3.1 <i>First-Order Upwind</i>	34
3.3.2 <i>Second-Order Upwind Scheme</i>	34
3.3.3 Bentuk Linearisasi Persamaan Diskrit.....	35
3.3.4 <i>Under-Relaxation</i>	35
3.4. Diskretisasi <i>Coupled Solver</i>	36
3.4.1 Aturan Persamaan-persamaan dalam Bentuk Vektor	36
3.4.2 <i>Preconditioning</i>	37
3.5. Model Multifasa.....	39
3.6. Model Turbulen (<i>Turbulence Models</i>).....	40
3.6.1 Permodelan <i>k-epsilon</i> ($k-\epsilon$)	40
3.6.1.1 Standard	40
3.6.1.2 RNG	41
3.6.1.3 Realizable	41
3.6.2 Permodelan <i>k-omega</i> ($k-\omega$).....	42
3.6.2.1 Standard	42
3.6.2.2 SST	42
3.7. Adapsi Grid	43
3.7.1 Proses Adapsi.....	43
3.7.2 Adapsi Y^+ dan Y^*	45

3.8. Permodelan Bentuk dan Simulasi Numerik pada Fluent 6.3.26	47
3.8.1 Permodelan Bentuk	47
3.8.1.1 Bentuk Coalescer Sekat 1.2 inch	47
3.8.1.2 Bentuk Coalescer Sekat 1 inch	48
3.8.1.3 Bentuk Coalescer Sekat 1.5 inch	48
3.8.2 Pembentukan Mesh	49
3.8.3 Solver dan Model Turbulensi	50
3.8.4 Pendefinisian Kondisi Batas	52
BAB IV Hasil Analisa	55
4.1.1 Hasil Simulasi dengan Beberapa model k - ϵ (k - ϵ) dan k - ω (k - ω)	55
4.2 Penggambaran Display dan Velocity Vectors didalam coalescer	68
4.2.1 Display Contours Velocity	68
4.2.1 Display Contours Pressure	70
4.2.2 Velocity Vectors inlet	72
4.2.3 Velocity Vectors Volume Fraction	73
BAB V Kesimpulan dan Saran	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gambar Instalasi pada Offshore.....	1
Gambar 1.2	Coaleser.....	2
Gambar 1.3	Aliran Coalescer.....	3
Gambar 1.4	Flopak media design	4
Gambar 1.5	Flopak media design	4
Gambar 2.1	Respon terhadap gaya	7
Gambar 2.2	Klasifikasi aliran	8
Gambar 2.3	Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata.....	9
Gambar 2.4	Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu.....	10
Gambar 2.5	Aliran dalam pipa.....	11
Gambar 2.6	Massa mengalir kedalam dan keluar elemen fluida	13
Gambar 2.7	Komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida	15
Gambar 2.8	Komponen tegangan dalam arah x	16
Gambar 2.9	Coalescer	21
Gambar 2.10	Konfigurasi Coalescer.....	22
Gambar 2.11	Oleophilic Material	22
Gambar 2.12	Pelat pemisah.	24
Gambar 2.13	Pemisah pelat datar bergelombang.....	25
Gambar 2.14	Penggabungan tabung pemisah.....	25
Gambar 2.15	Pemisah jenis.....	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Prosedur Simulasi FLUENT.....	29
Gambar 3.2	Volume Kendali Digunakan Sebagai Ilustrasi Diskretisasi Persamaan <i>Transport</i> Skalar	33
Gambar 3.3	Volume Kendali Digunakan Sebagai Ilustrasi Diskretisasi Persamaan <i>Transport</i> Skalar pada model sel 2D quadrilateral	34
Gambar 3.4	Contoh <i>Hanging Node</i>	44
Gambar 3.5	Hasil <i>Conformal Refinement</i>	45
Gambar 3.6	dengan menghilangkan titik dan menyetigakan kembali	45

Gambar 3.7	Hasil Meshing Menggunakan Adapsi 	46
Gambar 3.8	Gambar Coalescer sekat 1.2 inch	47
Gambar 3.9	Gambar Coalescer sekat 1 inch	48
Gambar 3.10	Gambar Coalescer sekat 1.5 inch	48
Gambar 3.11	Gambar Mesh Coalescer	50
Gambar 3.12	Model k epsilon standard	51
Gambar 3.13	Model k epsilon RNG	51
Gambar 3.14	Model Mass flow inlet	52
Gambar 3.15	Model Mass flow inlet water	53
Gambar 3.16	Model Mass flow inlet oil	53
Gambar 3.17	Model outflow oil	54
Gambar 3.18	Model outflow water	54
Gambar 4.1	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-epsilon</i> ($k-\epsilon$) standard	56
Gambar 4.2	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-epsilon</i> ($k-\epsilon$) RNG	57
Gambar 4.3	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-omega</i> ($k-\omega$) standard	58
Gambar 4.4	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-omega</i> ($k-\omega$) SST	59
Gambar 4.5	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-epsilon</i> ($k-\epsilon$) standard	60
Gambar 4.6	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model <i>k-epsilon</i> ($k-\epsilon$) RNG	61

Gambar 4.7	Perbandingan grafik hasil berapa kandungan minyak yang terjadi pada jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dengan model $k-\omega$ ($k-\omega$) standard	62
Gambar 4.8	Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1 inch	64
Gambar 4.9	Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1.2 inch	65
Gambar 4.10	Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1.5 inch	66
Gambar 4.11	Gambar contours velocity sekat 1 inch pada detik ke 180.....	68
Gambar 4.12	Gambar contours velocity sekat 1.2 inch pada detik ke 180.....	68
Gambar 4.13	Gambar contours velocity sekat 1.5 inch pada detik ke 180.....	69
Gambar 4.14	Gambar contours pressure sekat 1 inch pada detik ke 180	70
Gambar 4.15	Gambar contours pressure sekat 1.2 inch pada detik ke 180	70
Gambar 4.16	Gambar contours pressure sekat 1.5 inch pada detik ke 180	71
Gambar 4.17	Gambar velocity vectors inlet didalam coalecser pada detik ke 180 pada sekat 1 inch	72
Gambar 4.18	Gambar velocity vectors by volume fraction campuran minyak dan air didalam coalecser pada detik ke 180 pada sekat 1 inch.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persamaan Pembangun Aliran Fluida Newtonian Kompresibel	20
Tabel 3.1	Characteristic	49
Tabel 3.2	Jenis Volume Meshing	49
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Model <i>k-epsilon</i> ($k-\varepsilon$) Standard	55
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Model <i>k-epsilon</i> ($k-\varepsilon$) RNG	56
Tabel 4.3	Hasil simulasi model <i>k-omega</i> ($k-\omega$) Standard	57
Tabel 4.4	Hasil simulasi model <i>k-omega</i> ($k-\omega$) SST	58
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Model <i>k-epsilon</i> ($k-\varepsilon$) Standard	60
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Model <i>k-epsilon</i> ($k-\varepsilon$) RNG	61
Tabel 4.7	Hasil simulasi model <i>k-omega</i> ($k-\omega$) Standard	62
Tabel 4.8	Hasil Simulasi Model 1 inch	64
Tabel 4.9	Hasil Simulasi Model 1.2 inch	65
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Model 1.5 inch	66

NOMENKLATUR

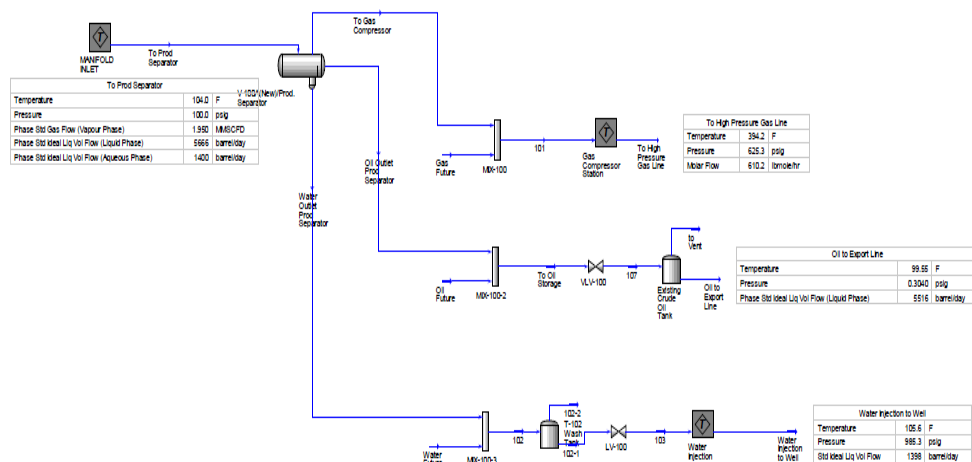
c	Kecepatan suara	m/s
D	Diameter Pipa	m
I	Intensitas turbulen	%
M	Bilangan Mach Number	
m	massa	kg
P	tekanan	psig
Re	<i>reynold number</i>	
t	Waktu	s
u	Kecepatan	m/s
V	Kecepatan aliran	m/s
μ	viskositas	Ns/m^2
ρ	Densitas	kg/m^3

BAB 1

PENDAHULUAN

I. LATAR BELAKANG

Coalescer digunakan dalam beberapa aplikasi industri. Dalam kilang, coalescer digunakan dalam pemisahan larutan dari hidrokarbon seperti dalam pemisahan dispersi selama tahap pencucian. Dalam aplikasi lepas pantai coalescer digunakan untuk memisahkan air dari minyak dan juga untuk air dan gas alam glikol dari kondensat. Dalam industri hidrometalurgi, coalescer digunakan dalam pelarut untuk menghilangkan dari zat cair dan juga dalam ekstraksi untuk meningkatkan pemisahan fasa. Coalescer berguna dalam aplikasi proses industri kimia misalnya, dalam menghilangkan air dari pelarut [1].



Gambar 1.1 Gambar process Flow Diagram Produksi

Dari sumur reservoir fluida dialirkan ke separator melalui pipa-pipa alir (flow line) untuk dilakukan pemisahan antara air, minyak dan gas bumi. Gas hasil pemisahan, selain dapat langsung dimanfaatkan untuk industri dapat pula digunakan untuk injeksi gas-lift atau pressure maintenance, sedangkan minyak bumi (crude oil) umumnya ditampung terlebih dahulu di pusat pengumpulan minyak sebelum dikirim ke pengilangan atau terminal untuk dikapalkan [2],

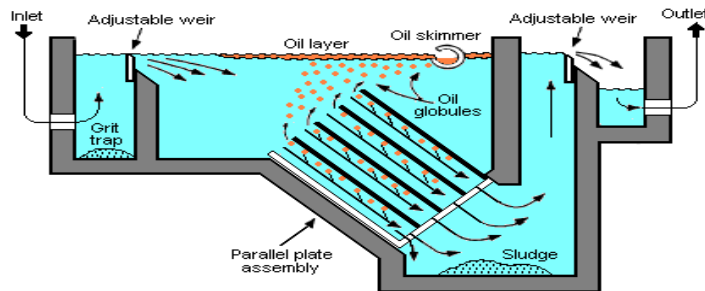
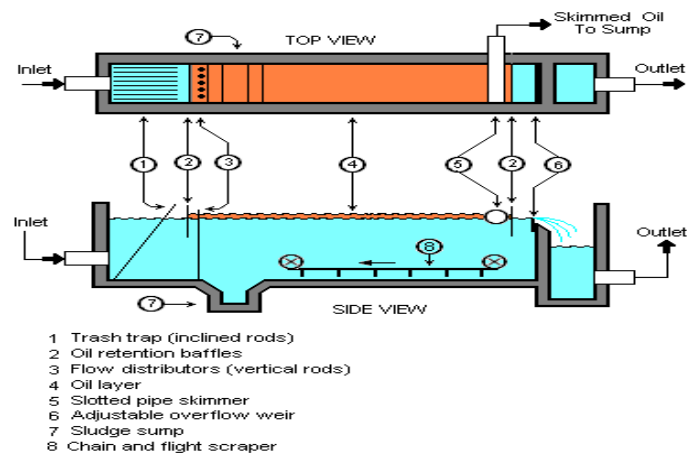
sedangkan air akan memasuki coalescer karena masi mengandung minyak. Coalescer digunakan untuk memisahkan air dari minyak.

Proses pemisahan coalescer oil water separators yaitu air dan campuran minyak masuk separator dan menyebar horizontal, didistribusikan melalui energi dan turbulensi akan menyebar ke perangkatnya. Campuran memasuki media Flopak yang ada pada laminar dan arus sinusoidal dibentuk dan minyak pada permukaan media. Minyak akan menyatu menjadi tetesan yang lebih besar, naik ke atas melalui corrugations, di mana minyak dan air dapat terpisah dan naik ke permukaan air. Pada saat yang bersamaan material padat memasuki media lalu memasuki proses pembentukan (corrugation) setelah itu jatuh ke dalam v-hopper dibawah media flopak [3].

Ada 2 bahan yang digunakan untuk plat coalescer yaitu plat polypropylene dan polietilena densitas tinggi. Polypropylene lebih oleophilic (karakteristik zat nya lebih menyerupai minyak dari pada air) dan menjadi bahan yang digunakan dalam produksi minyak secara umum. Beberapa orang industri percaya bahwa polypropylene terlalu oleophilic (karakteristik zat nya lebih menyerupai minyak dari pada air) dan tidak memungkinkan minyak untuk berpindah ke permukaan air. Bahan Polietilena umumnya digunakan sebagai material aleternatif untuk perbandingan [4].



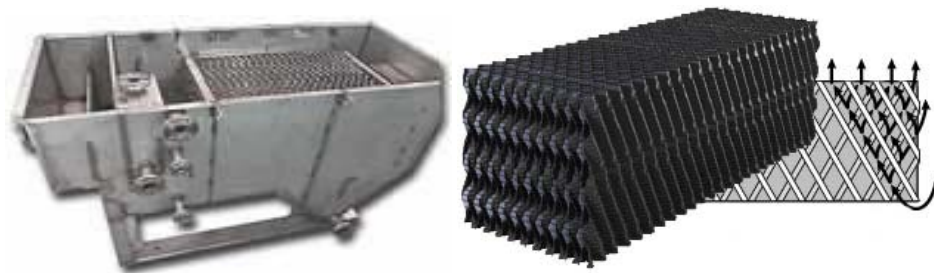
Gambar 1.2 Coalescer [3]



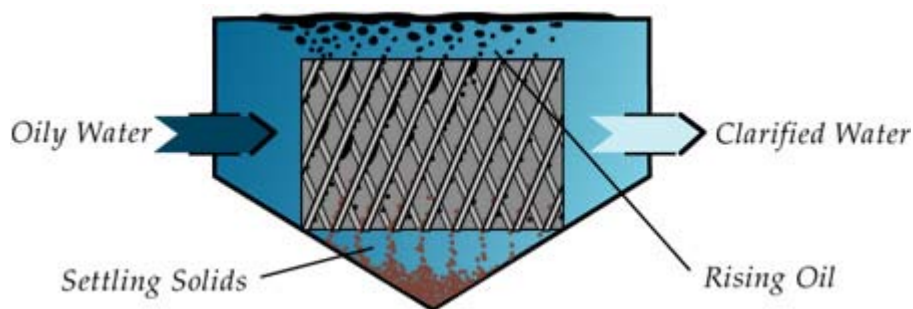
Gambar 1.3 Aliran Coalecer [5]

Media fropak menyediakan pola aliran laminar untuk membuat zona tanpa gerak sehingga memungkinkan tumbukan antara kandungan pada minyak dan permukaan media fropak dengan cara mengurangi kecepatan dan turbulensi aliran limbah. Kontrol terhadap aliran ini menciptakan keadaan ideal untuk terjadinya pemisahan minyak. Berdasarkan desain media fropak, material padat juga akan bertumbukan dengan media fropak dan tetap berada didasar coalescer dalam waktu tertentu, karena minyak lebih ringan dari pada air maka minyak tersebut akan berada diatas coalescer [3]

Desain ini di kenal dengan banyak nama yaitu pelat pararel dan pelat bergelombang. Namun desain dan konsepnya umumnya sama. Dan desain ini umumnya kosentrasi pembuangan minyaknya 10 ppm [3].



Gambar 1.4 Fopak media design [6]



Gambar 1.5 Fopak media design [3]

II.BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang diambil dari percobaan ini ada 4 yaitu

1. Coalescer yang digunakan jenis Coalescer 2-fasa minyak dan air.
2. Menggunakan jarak sekat dalam coalescer 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch.
3. Menggunakan beberapa model k -epsilon (k - ϵ) dan k -omega (k - ω).
4. Simulasi menggunakan jenis aliran unsteady.

III.TUJUAN

Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk memisahkan air dari minyak dan mengetahui berapa kandungan minyak (PPM) yang keluar dari outlet air.
2. Untuk membandingkan beberapa model k -epsilon dan k -omega yang tepat pada saat simulasi.

IV.METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah suatu metode yang dipergunakan dalam penelitian ilmiah dengan memperoleh informasi yang berhubungan dengan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dari literatur yang telah dipublikasikan.

2. Proses Simulasi

Melakukan proses simulasi dengan software FLUENT 6.3.26 dengan *input mesh* dari GAMBIT 2.3.16 .

3. Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh dari hasil simulasi, penulis melakukan verifikasi dengan data pustaka dan melakukan analisa perbandingan.

4. Penyusunan Laporan

Setelah tahapan-tahapan diatas selesai dilakukan penyusunan laporan mulai dilakukan, asistensi dilakukan dengan dosen pembimbing Tugas Akhir yang bersangkutan. Setelah mengadakan asistensi dengan dosen dan berdasarkan data-data yang diperoleh, penulis mengambil kesimpulan dan saran mengenai penelitian yang telah dilakukan.

V.SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam pembuatan laporan tugas akhir ini, sistematika penulisan yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab I ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan itu sendiri.

BAB II LANDASAN TEORI

Merupakan landasan teoritis yang digunakan dalam tugas sarjana ini sebagai studi literatur.

BAB III DASAR METODA VOLUME HINGGA DALAM FLUENT

6.3.26 dan Permodelan simulasi

Berisi tentang perangkat lunak FLUENT, diskretisasi persamaan-persamaan diferensial dasar serta gambaran umum variabel simulasi yang disediakan oleh FLUENT dan permodelan simulasi.

BAB IV HASIL SIMULASI

Disini menyajikan hasil simulasi yang telah dilakukan dan memuat tentang verifikasi dari data hasil simulasi dengan literatur yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

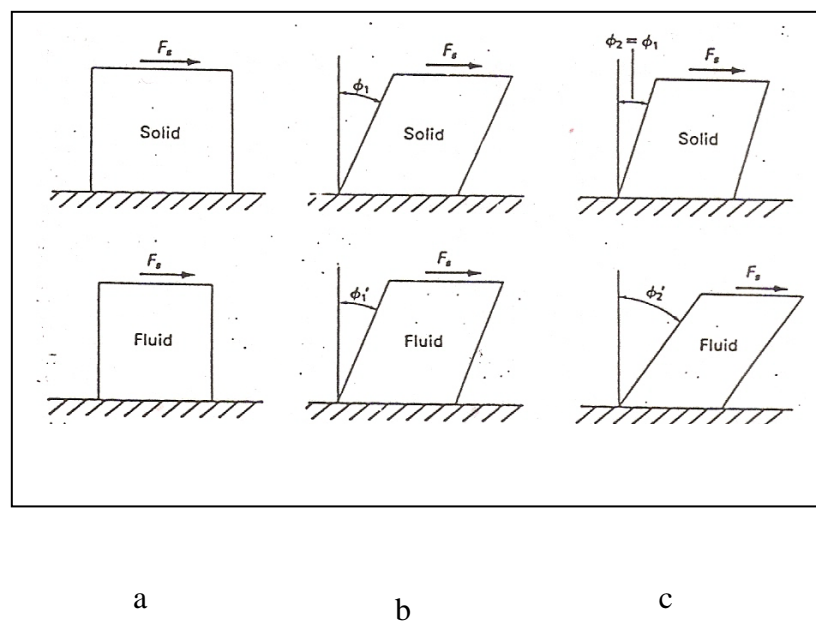
Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil analisa pada bab-bab sebelumnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Klasifikasi Aliran

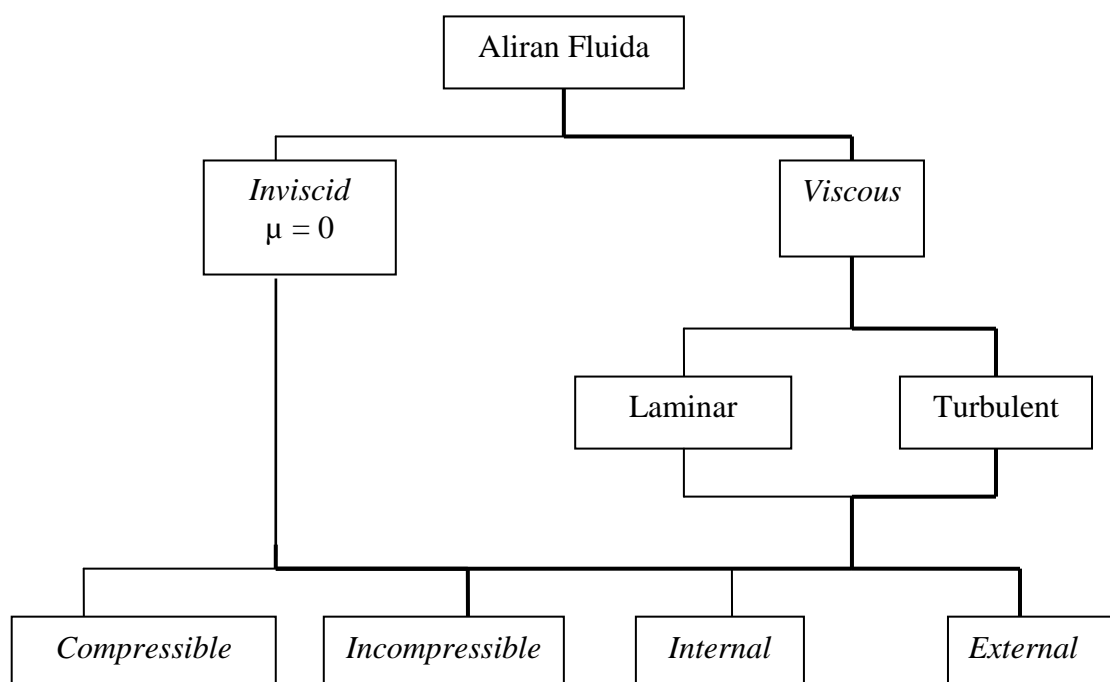
Fluida adalah zat yang terus menerus mengalami deformasi dibawah penerapan tegangan geser (tangensial) tidak peduli seberapa kecil tegangan geser. Sehingga fluida terdiri dari cairan dan gas (atau fase uap). Perbedaan antara keadaan fluida dan solid jelas jika anda membandingkan perilaku fluida dan solid. Solid berdeformasi ketika tegangan geser diterapkan, tetapi deformasi yang tidak terus meningkat dengan waktu [7]. Visualisasi konsep fluida dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Respon terhadap gaya: (a) tidak merespon gaya yang diberikan secara tiba-tiba; (b) beberapa waktu setelah dikenai gaya; (c) setelah lama dikenai gaya [8].

Dari konsep fluida di atas, kemudian dikenal konsep fluida *continuum* adalah fluida yang mengalir dianggap sebagai suatu kumpulan molekul yang

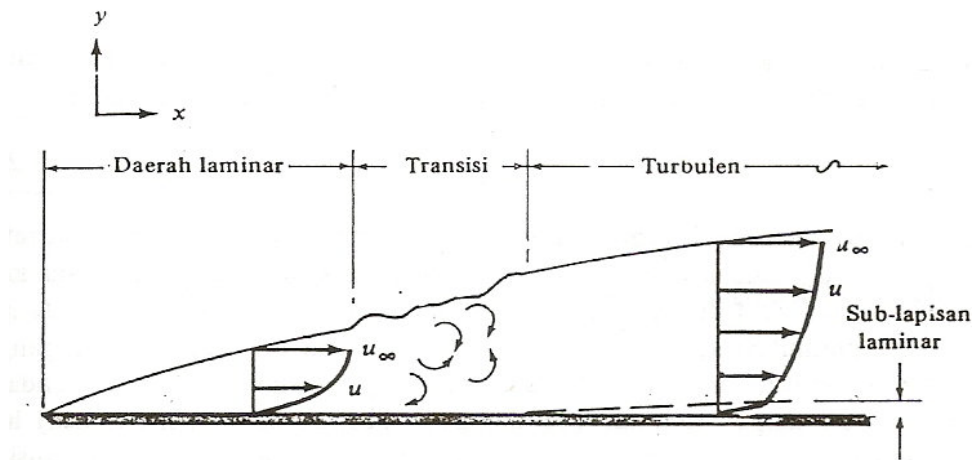
tergabung secara keseluruhan tidak dapat dilihat atau dianalisa secara molekul [8]. Sebagai konsekuensi bahwa fluida *continuum* adalah setiap sifat fluida (*fluid property*) diasumsikan sama pada setiap titik pada setiap bagian dan bersifat kontinyu terhadap posisi dan waktu [9]. Salah satu klasifikasi aliran fluida dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi aliran fluida [8].

2.1.1. Aliran *Inviscid* dan *Viscous*

Aliran fluida berdasarkan viskositasnya dibagi menjadi dua bagian yaitu aliran *inviscid* dan *viscous*. Pada aliran *inviscid* efek dari viskositas (kekentalan) fluida diabaikan ($\mu = 0$). Sebenarnya aliran fluida dengan viskositas sama dengan nol ini tidak ada. Namun untuk menyederhanakan analisa beberapa fenomena aliran mengabaikan viskositas boleh dilakukan. Untuk aliran fluida dimana viskositas sangat penting atau diperhatikan maka aliran itu disebut aliran *viscous* [9].



Gambar 2.3 Berbagai daerah aliran lapisan batas diatas plat rata [10].

Dari Gambar 2.3, terlihat mulai tepi depan plat itu terbentuk suatu daerah dimana pengaruh gaya viskos (*Viscous force*) makin meningkat. Gaya viskos ini biasanya dihubungkan dengan tegangan geser [10].

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.1)$$

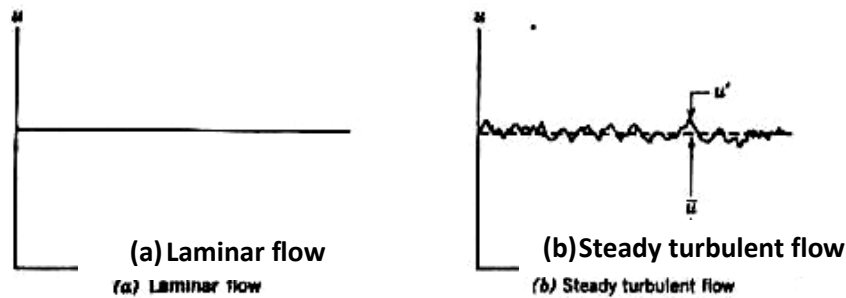
dimana : u = kecepatan dalam arah x

$\frac{du}{dy}$ = perbedaan kecepatan fluida pada arah y

μ = viskositas fluida

2.1.2. Aliran Laminar dan Aliran Turbulent

Berdasarkan struktur alirannya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Untuk aliran laminar kecepatan pada suatu titik akan tetap terhadap waktu. Sedangkan aliran turbulen kecepataannya akan mengindikasikan suatu fluktuasi yang acak. Dalam aliran turbulen, profil kecepatan pada suatu titik dihasilkan dari gerak acak partikel fluida berdasarkan waktu dalam jarak dan arah. Jika kita mengambil kecepatan rata-rata terhadap waktu, maka kecepatan sesaat dapat dihitung dengan menambahkan kecepatan rata-rata dengan kecepatan fluktuasi. Secara grafis dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4 [8].



Gambar 2.4 Variasi kecepatan (satu dimensi) terhadap waktu [8].

2.1.3. Aliran Kompresibel dan Inkompresibel

Aliran di mana perbedaan dalam massa jenis dapat diabaikan disebut inkompresibel. Ketika perbedaan massa jenis aliran yang tidak dapat diabaikan, aliran ini disebut kompresibel. Pada kenyataannya tidak ada fluida yang massa jenisnya konstan, tetapi ada beberapa masalah aliran fluida yang dapat disederhanakan dengan menganggap massa jenisnya konstan. Hal ini tidak mengurangi keakuratan solusi yang didapat. Parameter yang menjadi acuan utama untuk menentukan suatu aliran kompresibel atau tidak, dilihat dari nilai *Mach Number* (M), yang didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan aliran lokal terhadap kecepatan suara lokal [8].

$$M = \frac{V}{c}$$

Dimana: V = kecepatan aliran (*freestream*) (m/s)

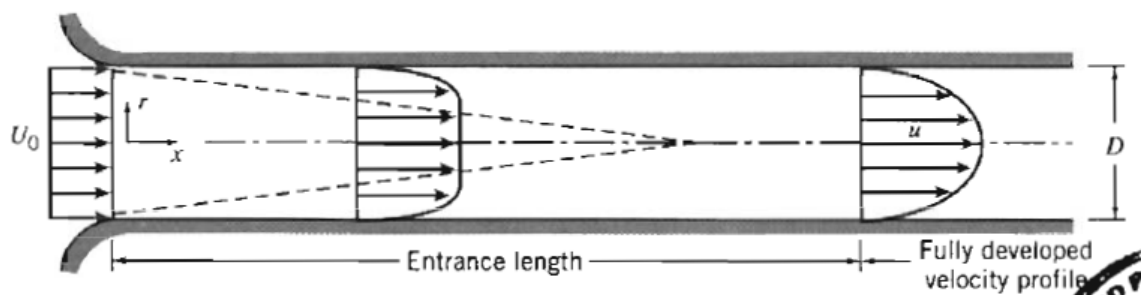
c = kecepatan suara (m/s) (2.2)

Pada saat $M < 0.3$, aliran tersebut dianggap sebagai aliran inkompresibel

2.1.4. Aliran Internal dan Eksternal

Aliran yang dibatasi oleh suatu permukaan batas seperti pipa atau pembuluh disebut aliran internal. Contohnya seperti pada Gambar 2.5. Aliran mengalir pada benda yang terbenam di dalam fluida yang tak terbatas diistilahkan aliran eksternal. Aliran internal dan eksternal keduanya dapat berupa aliran laminar atau turbulen, kompresibel atau inkompresibel [7]. Contoh-contoh aliran

eksternal mencakup aliran udara pada pesawat terbang, mobil, gumpalan salju yang turun, atau aliran air disekitar kapal selam dan ikan. Aliran eksternal yang melibatkan udara sering disebut sebagai aerodinamika untuk menunjukkan arti penting dari aliran eksternal yang dihasilkan ketika sebuah objek seperti sebuah pesawat terbang menjelajah atmosfer [10].



Gambar 2.5 Aliran dalam pipa [8].

2.1.5. Aliran 2 fasa

Aliran 2 fasa adalah aliran yang terjadi dalam suatu sistem yang mengandung gas dan cairan. Aliran 2 fasa dapat dikelompokkan menjadi aliran gas-cair dan cair-cair [9]. Kriteria dari 2 fasa yaitu perbedaan densitas dan viskositas.

2.2 Persamaan Dasar Aliran Fluida

Persamaan dasar fluida pada hakikatnya dapat dikembangkan dari ketiga prinsip dasar fisika yaitu kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan energi.

2.2.1. Persamaan Kekekalan Massa

Langkah pertama dalam penurunan persamaan kekekalan massa adalah menuliskan keseimbangan massa untuk elemen fluida.

$$\begin{array}{ccc} \text{Kelajuan peningkatan massa} & = & \text{Neto kelajuan aliran massa ke} \\ \text{dalam elemen fluida} & & \text{dalam elemen fluida} \end{array}$$

Kelajuan peningkatan massa dalam elemen fluida adalah

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (2.3)$$

Untuk mengevaluasi properties pada masing-masing enam sisi permukaan atur, kita menggunakan sebuah pengembangan deret *Taylor* kira-kira pada titik O . Sebagai contoh, pada sisi kanan

$$\rho)_{x+dx/2} = \rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2} + \left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}\right) \frac{1}{2!} \left(\frac{dx}{2}\right)^2 + \dots$$

Abaikan suku-suku orde yang lebih tinggi, kita dapat menulis

$$\rho)_{x+dx/2} = \rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}$$

Dan

$$u)_{x+dx/2} = u + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}$$

Dimana $\rho, u, \frac{\partial \rho}{\partial x}, \text{ dan } \frac{\partial u}{\partial x}$ semua dievaluasi pada titik O . Suku-suku dapat disamakan pada sisi kiri adalah

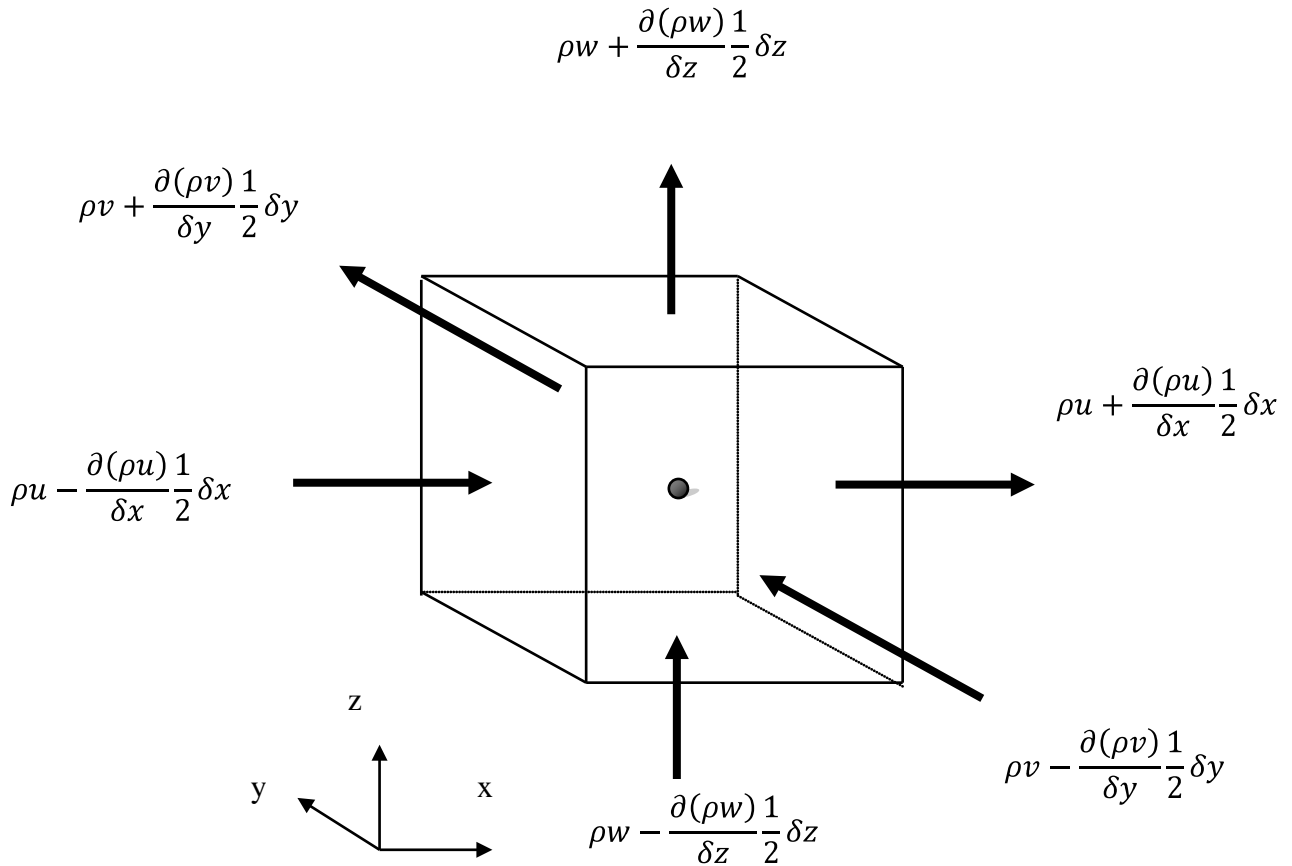
$$\rho)_{x-dx/2} = \rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}$$

$$u)_{x-dx/2} = u - \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{dx}{2}$$

Selanjutnya kita perlu menerangkan kelajuan massa aliran melintasi sebuah bidang elemen yang diberikan oleh hasil dari densitas, luas dan komponen kecepatan normal terhadap bidang. Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa neto kelajuan aliran massa ke dalam elemen melewati boundarynya diberikan oleh

$$\begin{aligned} & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \\ & - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (2.4)$$

Aliran-aliran yang sejajar ke dalam elemen menghasilkan sebuah peningkatan massa dalam elemen dan mempunyai sebuah tanda positif dan aliran-aliran yang meninggalkan elemen diberikan sebuah tanda negatif.



Gambar 2.6 Massa mengalir kedalam dan keluar elemen fluida [11].

Kelajuan peningkatan massa ke dalam elemen (2.3) sekarang sama dengan neto kelajuan aliran massa ke dalam elemen fluida melintasi bidangnya (2.4). Semua suku-suku hasil akhir keseimbangan massa disusun pada sisi sebelah kiri dengan tanda yang sama dan pernyataan dibagi dengan $\delta x \delta y \delta z$.

Ini menghasilkan

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

Karena operator vector, ∇ , dalam koordinat rectangular, diberikan oleh

$$\nabla = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z} = 0$$

maka

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = \text{div}(\rho \mathbf{u})$$

dan kekekalan massa boleh ditulis sebagai

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) adalah *unsteady*, kekekalan massa atau persamaan kontinuitas tiga dimensi pada sebuah titik dalam sebuah fluida kompresibel. Suku pertama pada sisi sebelah kiri kelajuan perubahan dalam waktu dari densitas (massa per satuan volume). Suku kedua menjelaskan neto aliran massa keluar dari elemen melintasi boudarinya dan disebut suku konvektif.

Untuk fluida inkompresibel (misalnya *liquid*) densitas adalah konstan dan persamaan (2.6) menjadi [11].

$$\text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.7)$$

atau dalam penjabarannya

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

2.2.2. Persamaan Kekekalan Momentum

Hukum newton kedua menyatakan bahwa laju perubahan momentum partikel fluida sama dengan jumlah gaya gaya pada partikel.

Tingkat kenaikan momentum partikel fluda = jumlah gaya gaya pada partikel

Kelajuan peningkatan momentum x , y , dan z per satuan volume partikel fluida diberikan oleh

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u})$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u})$$

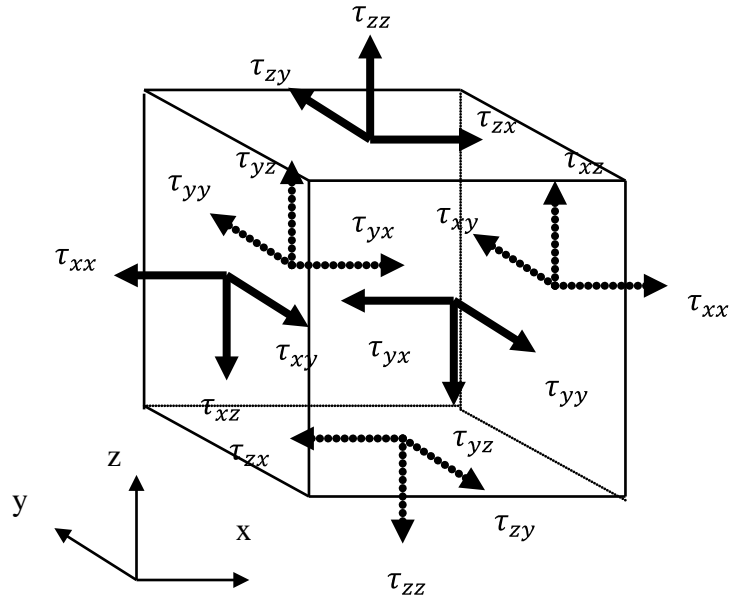
$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) \quad (2.9)$$

Kita membedakan dua tipe gaya pada partikel fluida:

- a) Gaya-gaya permukaan:
 - i. Gaya tekanan
 - ii. Gaya viskos
- b) Gaya-gaya badan:
 - i. Gaya gravitasi
 - ii. Gaya sentrifugal
 - iii. Gaya coriolis
 - iv. Gaya elektromagnetik

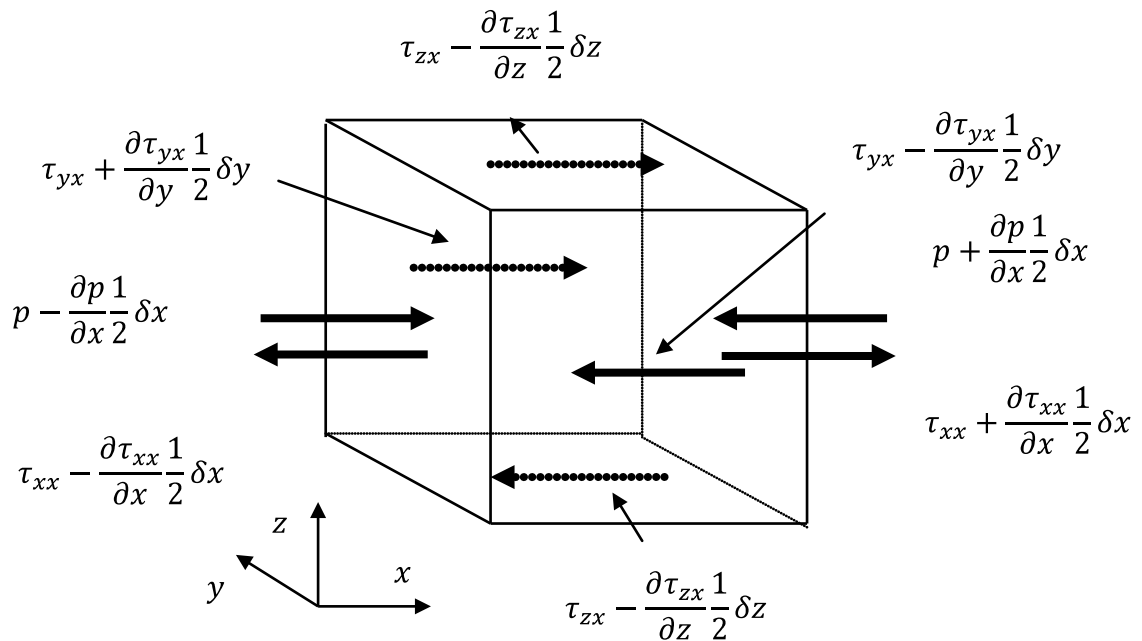
Biasa dilakukan menyoroti kontribusi yang disebabkan gaya-gaya permukaan sebagai bagian tersendiri dalam persamaan momentum dan memasukkan gaya-gaya badan sebagai suku *source*.

Keadaan tegangan dari sebuah elemen fluida didefinisikan dalam suku - suku tekanan dan sembilan komponen tegangan viskos ditunjukkan dalam Gambar 2.7. Tekanan, sebuah tekanan normal, di tandai oleh p . Tegangan-tegangan viskos ditandai oleh τ . Notasi akhiran yang biasa τ_{ij} digunakan untuk menandakan arah tegangan viskos. akhiran i dan j dalam τ_{ij} menandakan bahwa komponen tegangan bekerja dalam arah j pada sebuah permukaan normal ke arah i .



Gambar 2.7 Komponen tegangan pada tiga bidang elemen fluida [11].

Pertama kita mempertimbangkan komponen-komponen arah x dari gaya-gaya yang disebabkan komponen tegangan τ_{xx} , τ_{yx} dan τ_{zx} dan tekanan p ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Besarnya hasil akhir gaya dari sebuah tegangan permukaan adalah hasil dari tegangan dan luas. Gaya yang sejajar dengan arah dari sebuah $axis$ koordinat menjadi sebuah tanda positif dan itu dalam arah yang berlawanan dengan sebuah tanda negatif. Neto gaya dalam arah x adalah jumlah komponen – komponen gaya bekerja dalam arah itu pada elemen fluida.



Gambar 2.8. Komponen tegangan dalam arah x [11].

Pada pasangan sisi (timur, barat) kita mempunyai

$$\begin{aligned} & \left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z \\ & + \left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z \\ & = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \end{aligned} \quad (2.10a)$$

Gaya total dalam arah x pada pasangan sisi (utara, selatan) adalah

$$\begin{aligned} & - \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \end{aligned} \quad (2.10b)$$

Akhirnya gaya total dalam arah x pada sisi *bawah* dan *atas* diberikan oleh

$$\begin{aligned} & - \left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \\ & = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \end{aligned} \quad (2.10c)$$

Total gaya per satuan volume pada fluida yang disebabkan tegangan-tegangan permukaan ini adalah sama dengan jumlah dari (2.10a), (2.10b) dan (2.10c) dibagi oleh volume $\delta x \delta y \delta z$:

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (2.11)$$

Tanpa mempertimbangkan gaya badan dalam lebih detail lagi pengaruhnya secara menyeluruh dapat dimasukkan dengan mendefinisikan sebuah source S_{Mx} dari momentum x per satuan volume per satuan waktu.

Komponen x persamaan momentum ditemukan dengan menetapkan perubahan momentum x dari partikel fluida (2.9) sama dengan total gaya dalam arah x pada elemen yang disebabkan tegangan permukaan (2.11) ditambah kelajuan peningkatan momentum x disebabkan *source*:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2.12a)$$

Tidak sulit untuk membuktikan bahwa komponen y persamaan momentum diberikan oleh

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.12b)$$

dan juga komponen z persamaan momentum oleh

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2.12c)$$

Tanda yang dihubungkan dengan tekanan berlawanan terhadap yang dihubungkan dengan tegangan viskos normal, karena konvensi tanda yang biasa digunakan sebuah tegangan tarik yang menjadi tegangan normal positif sehingga tekanannya, yang mana dengan mendefinisikan sebuah tegangan normal tekan, mempunyai tanda negatif [11].

2.2.3. Persamaan Navier–Stokes untuk Sebuah Fluida Newtonian.

Dalam sebuah fluida Newtonian tegangan-tegangan viskos adalah sebanding dengan kelajuan deformasi. Bentuk tiga dimensi hukum Newton viskositas untuk aliran kompresibel melibatkan konstanta kesebandingan: viskositas dinamik (pertama), μ , menghubungkan tegangan-tegangan dengan deformasi linier, viskositas kedua, λ , menghubungkan tegangan-tegangan dengan deformasi volumetrik. Sembilan komponen tegangan viskos, dari yang enam adalah berdiri sendiri, adalah

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \lambda \operatorname{div} \mathbf{u} \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \\ &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Tidak banyak diketahui tentang viskositas kedua λ , karena pengaruhnya kecil dalam praktek. Untuk gas suatu pendekatan yang baik dapat diperoleh dengan mengambil nilai $\lambda = -\frac{2}{3}\mu$ (Schlichting, 1979). *Liquid* adalah inkompresibel jadi persamaan konservasi massa adalah $\text{div } \mathbf{u} = 0$ dan tegangan viskos hanya dua kali kelajuan deformasi linier viskositas dinamamiknya.

Substitusi tegangan-tegangan geser di atas (2.13) ke dalam (2.12a-c) menghasilkan persamaan yang disebut persamaan *Navier-Stokes*:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{Mx} \quad (2.14a)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_{My} \quad (2.14b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div } \mathbf{u} \right] + S_{Mz} \quad (2.14c)$$

Sering berguna untuk menyusun kembali suku-suku tegangan viskos sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } \mathbf{u} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ &+ \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \text{div } \mathbf{u}) \\ &= \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \end{aligned}$$

Tegangan-tegangan viskos dalam komponen-komponen y dan z persamaan dapat dibuat kembali dalam sebuah cara yang sama.

Persamaan Navier-Stokes dapat ditulis kembali dalam bentuk yang lebih berguna untuk pengembangan metode volume hingga:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \quad (2.15a)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad (2.15b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz} \quad (2.15c)$$

Jika kita menggunakan model Newtonian untuk tegangan-tegangan viskos dalam persamaan energi dalam kita peroleh setelah beberapa disusun ulang

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \text{ div } \mathbf{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (2.16)$$

Sebuah pengaruh yang disebabkan dalam persamaan energi dalam ini dijelaskan oleh fungsi dissipasi Φ . Dapat ditunjukkan menjadi sama dengan

$$\begin{aligned} \Phi = \mu \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} + \lambda (\text{div } \mathbf{u})^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Untuk menyimpulkan temuan-temuan hingga kini kita kutip dalam Tabel 2.1 bentuk perbedaaan atau kekekalan system persamaan yang membangun aliran fluida tiga dimensi tergantung waktu dan perpindahan panas sebuah fluida Newtonian kompresibel.

Tabel 2.1 Persamaan Pembangun Aliran Fluida Newtonian Kompresibel [11].

Massa	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0$	(2.7)
Momentum x	$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx}$	(2.15a)
Momentum y	$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My}$	(2.15b)
Momentum z	$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz}$	(2.15c)

2.3. Bilangan Reynolds

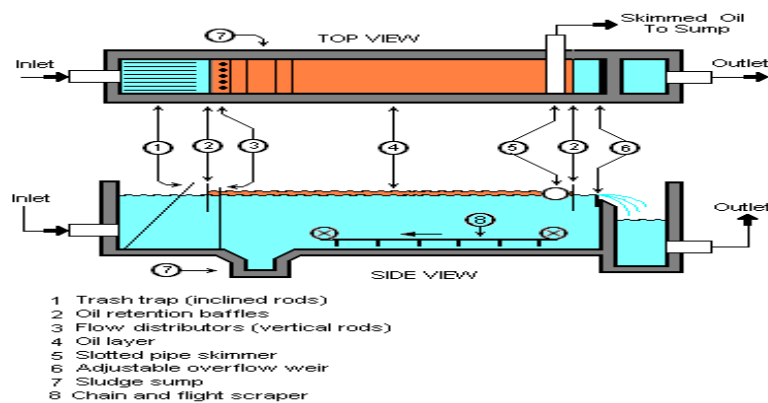
Bilangan Reynolds merupakan parameter tak-berdimensi yang sangat terkenal dalam ilmu mekanika fluida. Nama ini diberikan sebagai penghargaan bagi Osborne Reynolds (1842-1912), insinyur dari Inggris yang pertama kali mendemonstrasikan bahwa kombinasi dari variabel-variabel dapat digunakan sebagai suatu patokan untuk membedakan aliran laminar dengan aliran turbulen. Pada kebanyakan soal aliran fluida, akan kita dapati diameter pipa, D , dan kecepatan, V , demikian juga kerapatan fluida, ρ , dan viskositas, μ , merupakan variabel-variabel yang relevan dalam sebuah soal. Dengan variabel tersebut, Bilangan Reynolds

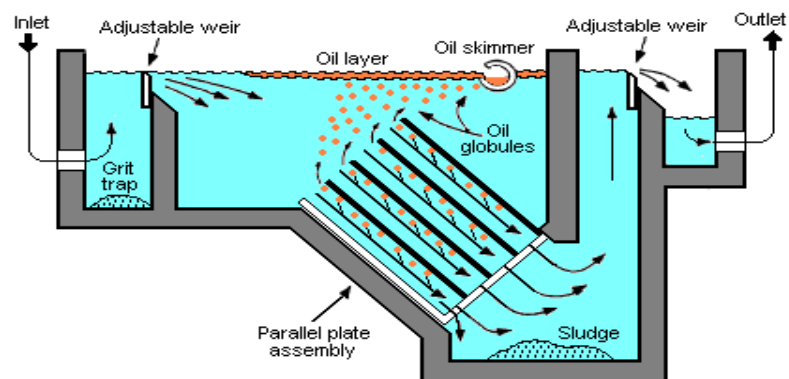
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.22)$$

Secara alamiah muncul dari suatu analisis dimensional. Bilangan Reynolds adalah ukuran dari rasio gaya inersia pada suatu elemen fluida terhadap gaya viskositas elemen [8].

2.4 Coalescer

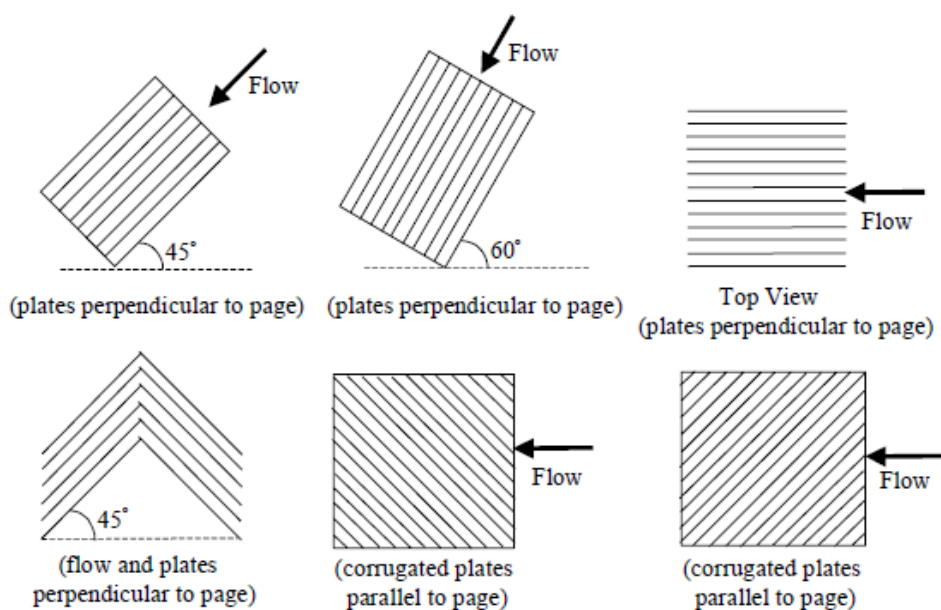
Proses pemisahan coalescer oil water separators yaitu air dan campuran minyak masuk separator dan menyebar horizontal, didistribusikan melalui energi dan turbulensi akan menyebar ke perangkatnya. Campuran memasuki media Flopak yang ada pada laminar dan arus sinusoidal dibentuk dan minyak pada permukaan media. Minyak akan menyatu menjadi tetesan yang lebih besar, naik ke atas melalui corrugations, di mana minyak dan air dapat terpisah dan naik ke permukaan air.[3]



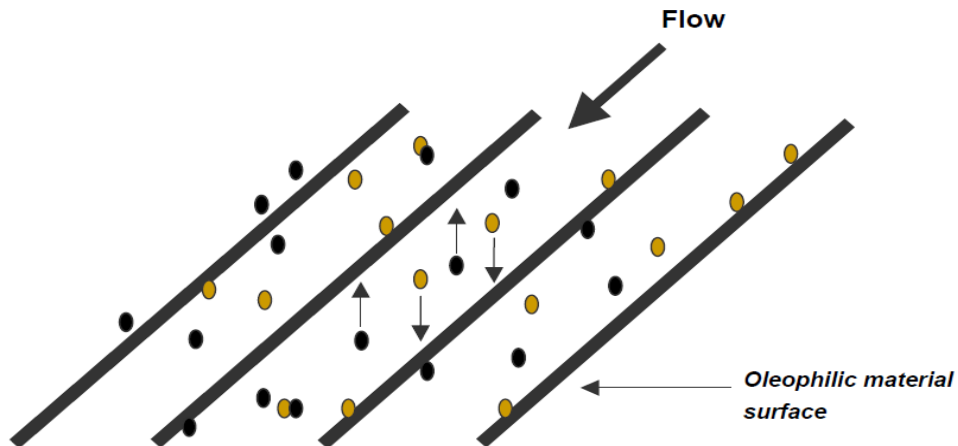


Gambar 2.9 Coalecer [5].

Ada 2 bahan yang digunakan untuk plat coalescer yaitu plat polypropylene dan polietilena densitas tinggi. Polypropylene lebih oleophilic (karakteristik zat nya lebih menyerupai minyak dari pada air) dan menjadi bahan yang digunakan dalam produksi minyak secara umum. Beberapa orang industri percaya bahwa polypropylene terlalu oleophilic (karakteristik zat nya lebih menyerupai minyak dari pada air) dan tidak memungkinkan minyak untuk berpindah ke permukaan air. Bahan Polietilena umumnya digunakan sebagai material aleternatif untuk perbandingan [4].



Gambar 2.10 Konfigurasi Coalescer [4].



Gambar 2.11 Oleophilic Material [4].

Banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam membuat atau mendesain sistem pemisahan air dan minyak/coalescer yaitu

1. Kondisi dan laju aliran
2. Diperlukan derajat pemisahan
3. Jumlah minyak didalam air inlet
4. Emulsifikasi minyak
5. Metode perbaikan pembuangan minyak.

Manfaat dari alat coalescer atau pemisahan air dan minyak dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan adalah

1. Ekonomis dan bagus dalam pengoperasiannya
2. Rendah biaya operasi dan pemeliharaan
3. Prinsip kerjanya berdasarkan gravitasi jadi tidak diperlukan alat tambahan
4. Minyak dapat didaur ulang kembali
5. Kemampuan untuk menangani kenaikan debit minyak dan air [12].

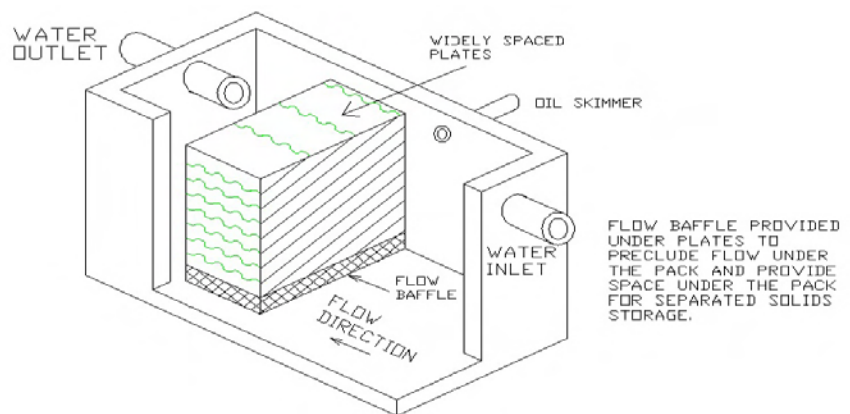
2.5 Design coalescer

Design yang sudah di lakukan atau yang sudah ada yaitu:

1. Penggabungan plat pemisah.
 - a. Pelat pemisah

Pelat pemisah ini telah di gunakan dan berhasil selama bertahun-tahun. Sistem ini biasanya terbuat dari fiberglass pelat bergelombang yang menjadi satu dan didalamnya frame baja dan stainless steel. Minyak akan naik dan memasuki

sistem sampai minyak tersebut mencapai permukaan di atas. Keuntungan dari sistem ini adalah mencakup peningkatan efisiensi minyak. Pemisah jenis ini umumnya dapat di konfigurasi dalam beberapa orientasi dengan arus tegak lurus terhadap pelat seperti gambar yang di tunjukkan pada gambar 2.12, sejajar dengan pelat secara upflow dan sejajar dengan pelat secara downflow.



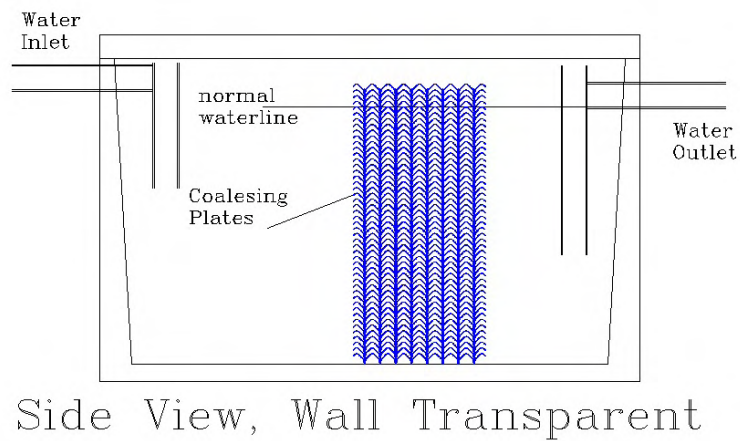
Gambar 2.12 Pelat pemisah [13].

b. Pelat pemisah yang datar bergelombang

Pelat pemisah datar bergelombang sering menggunakan Horizontal polypropylene oleophilic (karakteristik zat nya lebih menyerupai minyak dari pada air) di tumpuk satu di atas yang lain dalam tumpukan vertikal dan diikatkan ke batang dengan kabel. Gambar 2.13 mengilustrasikan gambar sistem pelat datar bergelombang.



a. Tampak dalam



b. Tampak samping

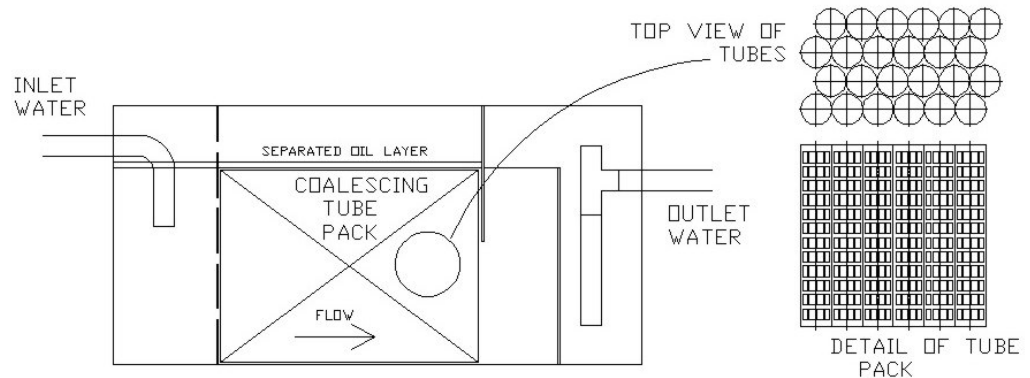
Gambar 2.13 Pemisah pelat datar bergelombang [13].

c. Sudut pemisah

2. Penggabungan tabung pemisah

Penggabungan tabung pemisah memanfaatkan tabung plastik berlubang untuk pemisahan di gunakan untuk pemisahan minyak dan air. Pemisah ini biasanya di buat dengan tabung di posisi vertikal tapi ada pula yang di buat

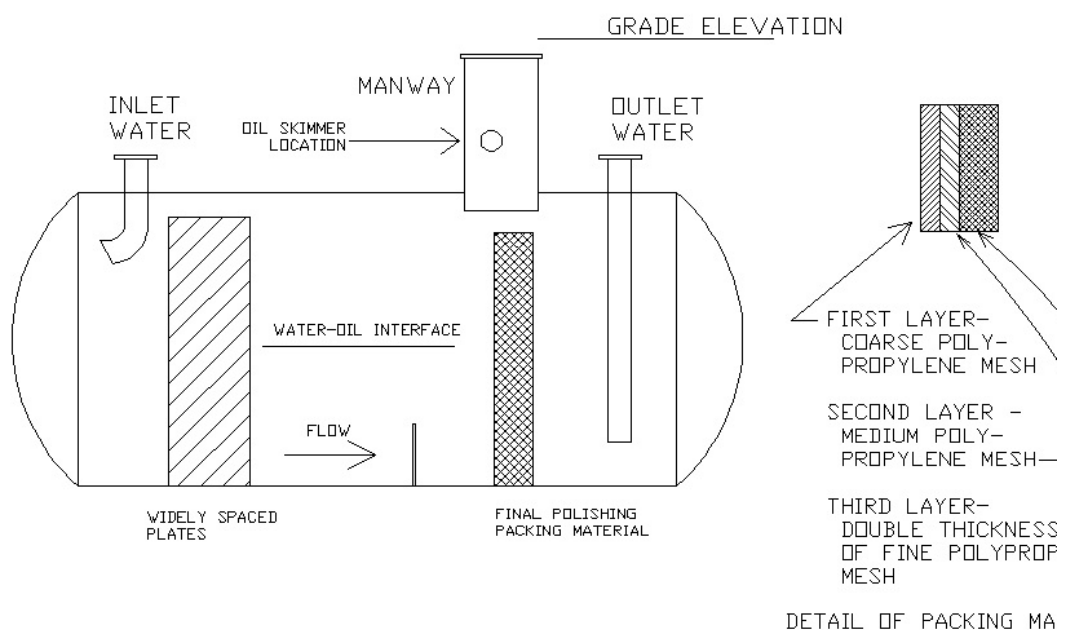
dengan posisi horizontal. Keuntungan dari penggunaan tipe pemisah ini adalah biaya rendah.



Gambar 2.14 Penggabungan tabung pemisah [13].

3. Pemisah jenis

Jenis coalescer ini sering digunakan dalam hubungannya dengan gravitasi pemisahan. Coalecser jenis ini terbuat dari bahan stainless steel dan polypropylene. Sistem jenis ini sangat efisien, tapi penggabungan fluida padat bisa mengalami penyumbatan. Jenis ini sering digunakan sebagai tahap kedua setelah tipe plat tahap pertama pemisahan [13].



Gambar 2.15 Pemisah jenis [13].

BAB III

METODE VOLUME HINGGA FLUENT 6.3.26 dan PEMODELAN SIMULASI

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan matematika (model matematika) [14].

CFD memprediksikan aliran berdasarkan [14] :

1. Model matematika (persamaan diferensial parsial). Khususnya memecahkan persamaan Navier-Stokes
2. Metode numerik (teknik solusi dan diskritisasi)
3. Tools perangkat lunak (solvers, tools pre- dan postprocessing)

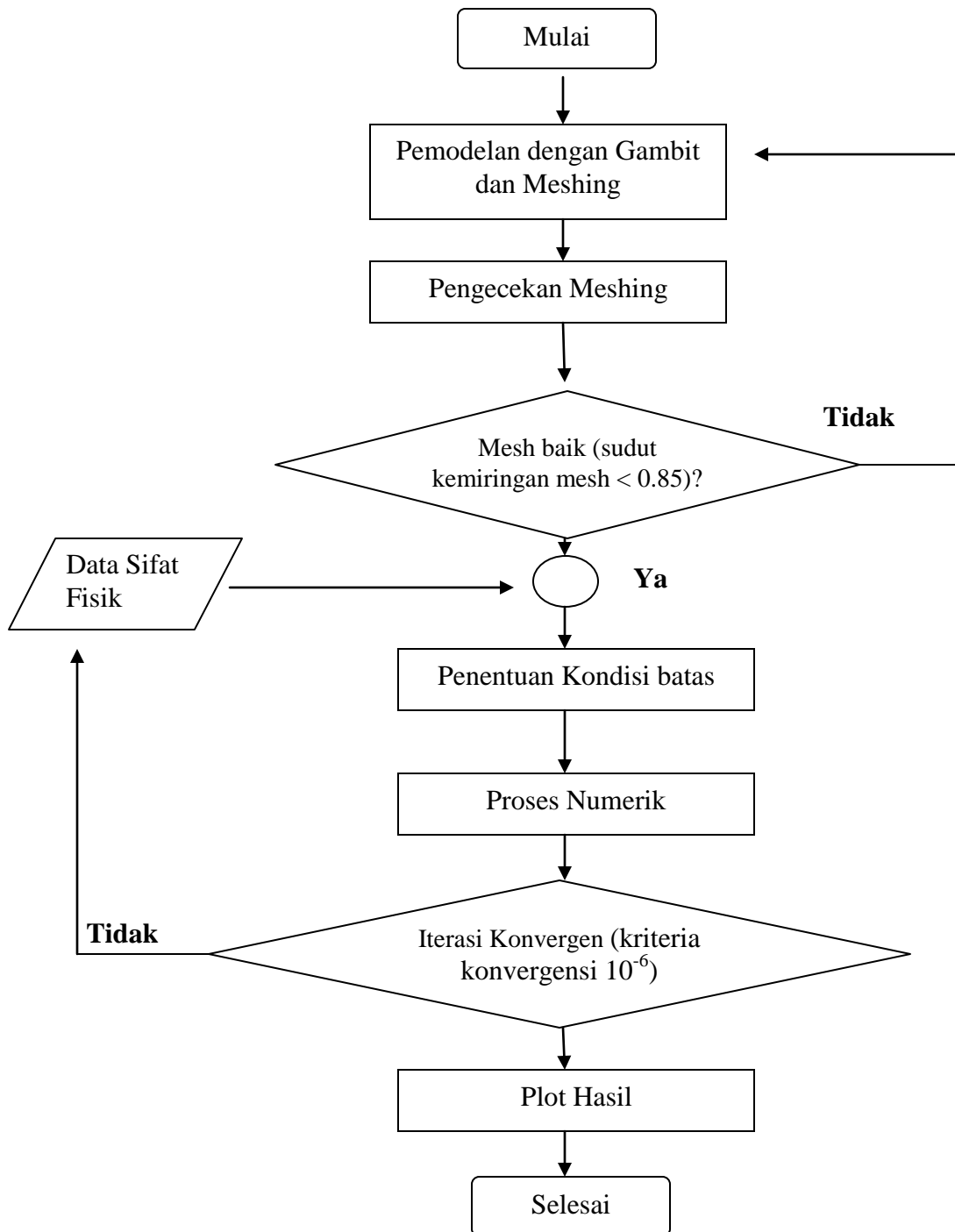
3.1. FLUENT

FLUENT adalah program komputer yang memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam geometri yang kompleks. FLUENT versi 6.3.26 merupakan salah satu jenis program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang menggunakan metode diskritisasi volume hingga. FLUENT memiliki fleksibilitas *mesh*, sehingga kasus-kasus aliran fluida yang memiliki *mesh* tidak terstruktur akibat geometri benda yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah. Selain itu, FLUENT memungkinkan untuk penggenerasian *mesh* lebih halus atau lebih besar dari mesh yang sudah ada berdasarkan pemilihan solusi aliran [9].

Secara lengkap langkah-langkah FLUENT dalam menyelesaikan suatu simulasi adalah sebagai berikut [14]:

1. Membuat geometri dan *mesh* pada model.
2. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
3. Mengimpor *mesh* model (grid).
4. Melakukan pemeriksaan pada *mesh* model.
5. Memilih formulasi *solver*.

6. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.
7. Menentukan sifat material yang akan dipakai.
8. Menentukan kondisi batas.
9. Mengatur parameter kontrol solusi.
10. *Initialize the flow field.*
11. Melakukan perhitungan/iterasi.
12. Menyimpan hasil iterasi.
13. Jika diperlukan, memperhalus grid kemudian melakukan iterasi ulang.



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Simulasi FLUENT [14].

3.2. SKEMA NUMERIK

FLUENT memberikan dua pilihan metode numerik, yaitu metode *segregated* dan *coupled*. Kedua metode tersebut dapat digunakan untuk memecahkan persamaan integral kekekalan momentum, massa, dan energy (*governing integral equation*), serta besaran skalar lainnya seperti turbulensi. Dalam proses pemecahan masalah, baik metode *segregated* dan *coupled* memiliki persamaan yaitu menggunakan teknik kontrol volume. Teknik kontrol volume sendiri terdiri dari:

- Pembagian daerah asal (*domain*) ke dalam kontrol volume diskrit dengan menggunakan grid komputasi.
- Integrasi persamaan umum kontrol volume untuk membuat persamaan aljabar dari variabel tak-bebas yang berlainan (*discrete dependent variables*) seperti kecepatan, tekanan, suhu, dan sebagainya
- Linearisasi persamaan dan solusi diskritisasi dari resultan sistem persamaan linear untuk menghasilkan nilai taksiran variabel tak-bebas.

Pada dasarnya metode *segregated* dan *coupled* memiliki persamaan dalam proses diskritisasi yaitu volume berhingga (*finite volume*), tetapi memiliki perbedaan pada cara pendekatan yang digunakan untuk melinearisasi dan memecahkan suatu permasalahan [9].

3.2.1. Metode Solusi *Segregated*

Metode ini menyelesaikan persamaan kekekalan massa, momentum, dan energi secara bertahap atau terpisah satu sama lain. Karena persamaan kekekalan massa, momentum, dan energi merupakan persamaan non-linear, beberapa iterasi harus dilakukan secara berulang-ulang sebelum solusi yang konvergen diperoleh. Dalam iterasi terdiri dari beberapa langkah, yaitu [9]:

1. Sifat-sifat fluida diperbarui berdasarkan solusi yang telah dilakukan. Untuk perhitungan awal, sifat-sifat fluida diperbaharui berdasarkan solusi awal (*initialized solution*).

2. Persamaan momentum u , v , dan w dipecahkan dengan menggunakan nilai-nilai tekanan dan fluks massa permukaan, supaya medan kecepatan diperbaharui.
3. Karena kecepatan yang diperoleh dalam tahap yang pertama tidak mungkin memenuhi persamaan kontinuitas secara lokal, persamaan “Poisson-type” untuk koreksi tekanan diturunkan dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum linear. Persamaan koreksi tekanan ini kemudian dipecahkan untuk memperoleh koreksi yang dibutuhkan untuk medan tekanan dan kecepatan serta fluks massa permukaan sampai kontinuitas dipenuhi.
4. Menyelesaikan persamaan-persamaan untuk besaran skalar seperti turbulensi, energi, radiasi dengan menggunakan nilai-nilai variabel lain yang telah diperbaharui.
5. Mengecek konvergensi persamaan.

3.2.2. Metode Solusi *Coupled*


Metode ini menyelesaikan persamaan kekekalan massa, momentum, dan energi secara serempak atau bersamaan (*simultaneously*). Karena persamaan kekekalan massa, momentum, dan energi merupakan persamaan non-linear, beberapa iterasi harus dilakukan secara berulang-ulang sebelum solusi yang konvergen diperoleh. Dalam iterasi terdiri dari beberapa langkah, yaitu [9]:


1. Sifat-sifat fluida diperbaharui berdasarkan solusi yang telah dilakukan. Untuk perhitungan awal, sifat-sifat fluida diperbaharui berdasarkan solusi awal (*initialized solution*).
2. Persamaan kontinuitas, momentum, dan energi jika ada serta besaran-besaran tertentu lainnya dipecahkan secara serempak.
3. Jika ada, persamaan-persamaan skalar seperti turbulensi dan radiasi dipecahkan dengan menggunakan nilai yang diperbaharui sebelumnya berdasarkan variable yang lain.
4. Mengecek konvergensi persamaan.


3.3. DISKRITISASI (*DISCRETIZATION*)

FLUENT menggunakan suatu teknik berbasis volume kendali untuk mengubah bentuk persamaan umum (*governing equation*) ke bentuk persamaan aljabar (*algebraic equation*) agar dapat dipecahkan secara numerik. Teknik kontrol volume ini intinya adalah pengintegralan persamaan diferensial umum untuk setiap volume kendali, sehingga menghasilkan suatu persamaan diskrit yang menetapkan setiap besaran pada suatu basis volume kendali. Diskritisasi persamaan umum dapat diilustrasikan dengan menyatakan persamaan kekekalan kondisi-steady untuk transport suatu besaran skalar. Hal ini ditunjukkan dengan Persamaan 3.1 yang ditulis dalam bentuk integral untuk volume kendali sembarang. Persamaan 3.1 diterapkan untuk tiap volume kendali atau sel dalam daerah asal komputasi (*domain*). sebagai berikut :

$$\oint \rho \phi v \cdot dA = \oint \Gamma_{\phi} \nabla_{\phi} \cdot dA + \int_V S_{\phi} dV \quad (3.1)$$


 Suku konveksi


 Suku difusi


 Suku sumber
 (source term)

dimana

- ρ = kerapatan fluida
- v = vektor kecepatan (= $ui + vj$ dalam 2D)
- A = vektor area permukaan
- Γ_{ϕ} = koefisien difusi untuk ϕ
- $\nabla \phi$ = gradien ϕ (= $(\partial \phi / \partial x)i + (\partial \phi / \partial y)j$ dalam 2D)
- S_{ϕ} = sumber ϕ tiap satuan volume.

Persamaan (3.1) diterapkan untuk tiap volume kendali atau sel dalam daerah asal komputasi (*domain*). Diskretisasi persamaan (3.1) pada sel tertentu diberikan pada persamaan berikut :

$$\sum_f^{N_{faces}} v_f \phi_f A_f = \sum_f^{N_{faces}} \Gamma_f (\nabla \phi)_n A_f + S_\phi V \quad (3.2)$$

dimana :

N_{faces} = jumlah sisi

ϕ_f = nilai ϕ yang dikonveksikan melalui sisi f

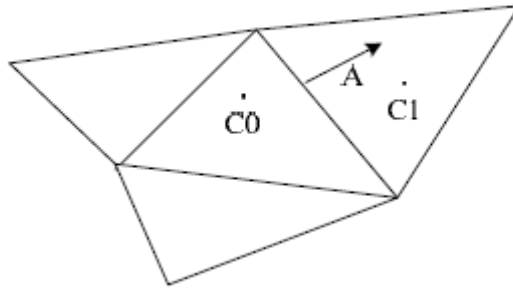
v_f = fluks massa yang melalui sisi

A_f = luas sisi f , $|A| (= |A_x \hat{i} + A_y \hat{j}|)$ dalam 2D

$(\nabla \phi)_n$ = jumlah $\nabla \phi$ yang tegak lurus terhadap sisi f

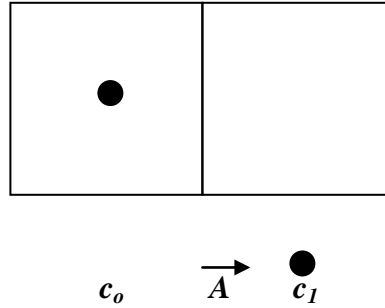
V = volume sel

Gambar 3.2 mengilustrasikan diskretisasi persamaan perpindahan scalar dengan teknik volume kendali.



Gambar 3.2 Volume Kendali Digunakan Sebagai Ilustrasi Diskretisasi Persamaan *Transport* Skalar [9].

Untuk penggunaan model sel 2D quadrilateral ditunjukkan pada Gambar 3.3 yang merupakan suatu contoh volume kendali.



Gambar 3.3 Volume Kendali Digunakan Sebagai Ilustrasi Diskretisasi Persamaan *Transport* Skalar pada model sel 2D quadrilateral [9].

FLUENT menyimpan nilai-nilai diskrit skalar ϕ pada pusat-pusat sel (c_0 dan c_1 pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3). Meskipun demikian, nilai-nilai sisi ϕ_f diperlukan untuk suku konveksi dalam Persamaan 3.2 dan harus diinterpolasi dari nilai-nilai pusat sel. Hal ini diselesaikan dengan menggunakan skema *upwind*. *Upwinding* berarti bahwa nilai sisi ϕ_f diturunkan dari besaran-besaran hulu atau “*upwind*”, relatif terhadap arah kecepatan tegak lurus, v_n dalam Persamaan 3.2 [9].

3.3.1. *First-Order Upwind*

Ketika menginginkan keakuratan (*accuracy*) orde-pertama, besaran-besaran sisi sel ditentukan dengan cara mengasumsikan bahwa nilai-nilai pusat-sel pada beberapa variabel medan menggambarkan nilai rata-rata-sel dan berlaku untuk seluruh sel; besaran-besaran sisi identik dengan besaran-besaran sel. Oleh karena itu, ketika *first-order upwind* dipilih, nilai sisi ϕ_f diatur sama dengan nilai-pusat ϕ pada sel upstream [9].

3.3.2. *Second-Order Upwind Scheme*

Ketika menginginkan keakuratan (*accuracy*) orde-kedua, besaran-besaran pada sisi sel ditentukan dengan menggunakan suatu pendekatan rekonstruksi linear

multidimensi. Dalam pendekatan ini, keakuratan orde yang lebih tinggi diperoleh pada sisi-sisi sel melalui ekspansi deret Taylor berdasarkan solusi pusat sel di sekitar sentroid sel. Oleh karena itu, saat *second-order upwinding* dipilih, nilai sisi ϕ_f dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\phi_f = \phi + \nabla\phi \cdot \Delta s \quad (3.3)$$

dimana ϕ dan $\nabla\phi$ merupakan nilai pusat-sel dan gradiennya dalam sel *upstream*, dan Δs merupakan vektor perpindahan dari sentroid sel *upstream* ke sentroid sisi. Formulasi ini membutuhkan penentuan gradient $\nabla\phi$ di setiap sel. Gradien ini dihitung dengan menggunakan teorima divergensi, dan dalam bentuk diskret ditulis sebagai :

$$\nabla\phi = \frac{1}{V} \sum_f^{N_{faces}} \phi_f A \quad (3.4)$$

Oleh karena itu nilai face ϕ_f dihitung dengan merata-ratakan ϕ dari dua sel yang berdekatan dengan sisi (*face*) [9].

3.3.3. Bentuk Linearisasi Persamaan Diskrit

Persamaan transport skalar terdiskretisasi (Persamaan 3.2) mengandung variabel skalar ϕ yang tidak diketahui pada pusat sel sebagaimana nilai-nilai yang tidak diketahui dalam sel-sel tetangga yang ada disekelilingnya. Persamaan ini pada umumnya akan menjadi tidak linear akibat adanya variabel-variabel ini. Bentuk linear Persamaan 3.2 dapat ditulis sebagai berikut :

$$a_p \phi = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (3.5)$$

dimana subkrip nb menunjukkan sel tetangga, dan a_p dan a_{nb} adalah koefisien-koefisien linear untuk ϕ dan ϕ_{nb} [9].

3.3.4. Under-Relaxation

Ketidaklinearan persamaan yang dipecahkan oleh FLUENT dapat mengakibatkan perubahan ϕ yang dihasilkan pada tiap iterasi menjadi tidak teratur. Tipikal dari adanya *under-relaxation* adalah mengurangi perubahan ϕ yang dihasilkan dari setiap iterasi. Dalam bentuk yang sederhana, nilai variable ϕ yang

baru dalam sebuah sel tergantung kepada nilai ϕ sebelumnya, ϕ_{old} , perubahan $\Delta \phi$ yang dihitung, dan faktor *under relaxation*, α , dirumuskan sebagai berikut :[9]

$$\phi = \phi_{old} + \alpha \Delta \phi \quad (3.6)$$

3.4. DISKRITISASI COUPLED SOLVER

Formulasi *coupled solver* pada FLUENT memecahkan persamaan kontinuitas, momentum, energi (jika diperlukan) dan persamaan *species transport* secara bersamaan sebagai sebuah set, atau vektor, dari persamaan-persamaan tersebut. Persamaan-persamaan untuk besaran-besaran tambahan akan diselesaikan secara bertahap (yaitu *segregated* dari satu yang lain dan dari set *coupled*).

3.4.1. Aturan Persamaan-Persamaan dalam Bentuk Vektor

Sistem dari persamaan-persamaan untuk fluida *single-component*, ditulis untuk menguraikan nilai aliran rata-rata, dipindah bentuk integral, bentuk kartesius untuk *volume kendali* V dengan area permukaan diferensial dA sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V W dV + \oint [F - G] \cdot dA = \int_V H dV \quad (3.7)$$

dimana vektor W , F , dan G didefinisikan sebagai

$$W = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ \rho E \end{Bmatrix}, F = \begin{Bmatrix} \rho v \\ \rho v u + \rho \hat{i} \\ \rho v u + \rho \hat{j} \\ \rho v u + \rho \hat{k} \\ \rho v E + \rho v \end{Bmatrix}, G = \begin{Bmatrix} 0 \\ \tau_{xi} \\ \tau_{yi} \\ \tau_{zi} \\ \tau_{ij} v_j + q \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

dan vektor H berisi batas seperti *body forces* dan *energy sources*. Dimana ρ , v , E , dan p adalah densitas, kecepatan, energi total per satuan massa, dan tekanan fluida, secara berturut-turut. τ adalah tekanan yang melekat, dan q adalah fluks panas. Energi total E dihubungkan dengan entalpi total H oleh

$$E = H - p/\rho$$

dimana

$$H = h + |v|^2/2 \quad (3.9)$$

Persamaan Navier-Stokes dinyatakan dalam persamaan (3.7) (secara numerik) menjadi sangat berat pada *Mach number* rendah dalam kaitannya dengan perbedaan antara kecepatan fluida v dan *acoustic speed* c (kecepatan suara). Ini juga dibenarkan untuk aliran inkompresibel, dengan mengabaikan kecepatan fluida, karena gelombang akustik sangat cepat pada fluida inkompresibel (kecepatan suara sangat cepat). Sulitnya perhitungan pada persamaan-persamaan dibawah kondisi tersebut mengakibatkan pada nilai konvergensi yang tidak baik. Kesulitan ini diatasi pada FLUENT's *coupled solver* dengan memanfaatkan suatu teknik yang disebut *preconditioning (time-derivative)*[9].

3.4.2. Preconditioning

Time-derivative preconditioning mengubah bentuk *time-derivative* dari persamaan (3.7) dengan cara *pre-multiplying* persamaan tersebut dengan matrik *preconditioning*. Asal mula matrik *preconditioning* dimulai dengan mengganti variabel yang tidak bebas pada persamaan (3.7) dari jumlah W untuk variabel primitif Q menggunakan kaidah-rantai sebagai berikut:

$$\frac{\partial W}{\partial Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_V Q dV + \oint [F - G] \cdot dA = \int_V H dV \quad (3.10)$$

dimana Q adalah vektor $\{p, u, v, w, T\}^T$ dan *Jacobian* $\partial W / \partial Q$ ditunjukkan oleh

$$\frac{\partial W}{\partial Q} = \begin{bmatrix} \rho_p & 0 & 0 & 0 & \rho_T \\ \rho_p u & \rho & 0 & 0 & \rho_T \\ \rho_p v & 0 & \rho & 0 & \rho_T \\ \rho_p w & 0 & 0 & \rho & \rho_T \\ \rho_p H - \delta & \rho u & \rho v & \rho w & \rho_T H + \rho C_p \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

dimana

$$\rho_p = \left. \frac{\partial \rho}{\partial p} \right|_T, \rho_T = \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_p$$

dan $\delta = 1$ untuk gas ideal dan $\delta = 0$ untuk fluida inkompresibel.

Kita mempersiapkan sistem dengan mengganti matrik *Jacobian* $\partial W / \partial Q$ dengan matrik *preconditioning* Γ jadi sistem *preconditioned* berubah bentuk menjadi

$$\Gamma \frac{\partial}{\partial t} \int_V Q dV + \oint [\mathbf{F} - \mathbf{G}]. d\mathbf{A} = \int_V H dV \quad (3.12)$$

dimana

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \Theta & 0 & 0 & 0 & \rho_T \\ \Theta u & \rho & 0 & 0 & \rho_T u \\ \Theta v & 0 & \rho & 0 & \rho_T v \\ \Theta w & 0 & 0 & \rho & \rho_T w \\ \Theta H - \delta & \rho u & \rho v & \rho w & \rho_T H + \rho C_p \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Parameter Θ ditunjukkan oleh

$$\Theta = \left(\frac{1}{U_r^2} - \frac{\rho T}{\rho C_p} \right) \quad (3.14)$$

Hasil *eigenvalues* dari sistem *preconditioned* (persamaan 12) adalah

$$u, u, u, u' + c', u' - c' \quad (3.15)$$

Dimana

$$\begin{aligned} u &= v \cdot \hat{n} \\ u' &= u (1 - \alpha) \\ c' &= \sqrt{\alpha^2 u^2 + U_r^2} \\ \alpha &= (1 - \beta U_r^2) / 2 \\ \beta &= \left(\rho_p + \frac{\rho T}{\rho C_p} \right) \end{aligned}$$

Untuk gas ideal, $\beta = (\gamma RT)^{-1} = 1/c^2$. Jadi, ketika $U_r = c$ (pada kecepatan sonik dan diatasnya), $\alpha = 0$ dan *eigenvalues* dari sistem *preconditioned* memerlukan bentuk

dasar, $u \pm c$. Pada kecepatan yang rendah, bagaimanapun juga, $U_r \rightarrow 0$, $\alpha \rightarrow 1/2$ dan semua *eigenvalues* menjadi sama seperti u [9].

Flux-Difference Splitting

Inviscid flux dari vektor F ditunjukkan pada persamaan (3.12) dievaluasi dengan standar *upwind*, *flux-difference splitting*. Dengan pemisahan F menjadi bagian-bagian, dimana masing-masing bagian berisi informasi perpindahan arah tertentu (yaitu, informasi karakteristik), dan *upwind* membedakan fluks yang dipisah pada cara yang tetap dengan *eigenvalues* yang sesuai, diperoleh sebagai berikut untuk fluks pada masing-masing bagian:

$$F = \frac{1}{2} (F_R + F_L) - \frac{1}{2} \Gamma |\hat{A}| \delta Q \quad (3.16)$$

Dimana δQ adalah perbedaan dari $Q_R - Q_L$. Fluks $F_R = F(Q_R)$ dan $F_L = F(Q_L)$ dihitung menggunakan solusi vektor Q_R dan Q_L pada sisi kanan dan kiri dari bagian tersebut. Matrik $|\hat{A}|$ didefinisi sebagai

$$|\hat{A}| = M |\Lambda| M^{-1} \quad (3.17)$$

dimana Λ adalah matrik diagonal dari *eigenvalues* dan M adalah matrik yang berhubungan dengan diagonal $\Gamma^{-1}A$, dimana A adalah fluks *Jacobian* $\partial F / \partial Q$.

Dalam bentuknya sekarang, persamaan (3.16) dapat dipandang sebagai orde kedua perbedaan ditambah matrik pemisah. Batas penambahan matrik pemisah tidak hanya untuk menghasilkan *upwinding* dari variabel *convected*, dan tekanan dan kecepatan fluks pada aliran supersonik, tetapi juga gabungan tekanan-kecepatan diperlukan untuk kestabilan dan konvergensi yang efisien pada kecepatan rendah dan aliran inkompresibel [9].

3.5 MODEL MULTIFASA

Pada aliran multifasa, suatu fasa dapat didefinisikan sebagai suatu tingkat material yang mempunyai respon inersia terhadap aliran dan berinteraksi dengan aliran dan medan potensial yang ada. Misalnya, material partikel padat yang sama tetapi berbeda ukuran dapat diperlukan sebagai fasa yang berbeda karena sekelompok partikel dengan ukuran yang sama akan mempunyai respon dinamik yang sama terhadap medan aliran [14].

FLUENT menyediakan beberapa model untuk aliran multifasa, yaitu:

1. *Volume of Fluid (VOF)*
2. *Mixture*
3. *Eulerian*

3.6 MODEL TURBULEN (*TURBULENCE MODELING*)

Aliran turbulen adalah suatu karakteristik yang terjadi karena adanya peningkatan kecepatan aliran. Peningkatan ini mengakibatkan perubahan momentum, energi, dan massa tentunya. Karena terlalu mahal untuk melakukan analisa secara langsung dari aliran turbulen yang memiliki skala kecil dengan frekuensi yang tinggi, maka diperlukan suatu manipulasi agar menjadi lebih mudah dan murah. Salah satunya adalah dengan permodelan turbulen (*turbulence model*). Meskipun demikian, modifikasi persamaan yang meliputi penambahan variabel yang tidak diketahui, dan permodelan turbulen perlu untuk menentukan variabel yang diketahui [9].

FLUENT sendiri menyediakan beberapa permodelan, diantaranya adalah $k-\varepsilon$ dan $k-\omega$.

3.6.1. Permodelan $k-\varepsilon$ (*k-epsilon*)

3.6.1.1 Standard

Model ini merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (*turbulent velocity*) dan skala panjang (*length scale*) ditentukan secara bebas

(*independent*). Model ini dikembangkan oleh Jones dan Launder. Kestabilan, ekonomis (dari segi komputansi), dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas [9].

3.6.1.2 RNG

Model ini diturunkan dengan menggunakan metode statistik yang teliti (teori renormalisasi kelompok). Model ini merupakan perbaikan dari metode *k-epsilon standard*, jadi bentuk persamaan yang digunakan sama. Perbaikan yang dimaksud meliputi [14] :

- Model RNG memiliki besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (*epsilon*), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- Efek putaran pada turbulensi juga telah disediakan, sehingga meningkatkan akurasi untuk jenis aliran yang berputar (*swirl flow*).
- Menyediakan formulasi analitis untuk bilangan Prandtl turbulen, sementara model *k-epsilon standard* menggunakan nilai bilangan Prandtl yang ditentukan pengguna (kostan).
- Model RNG menyediakan formulasi untuk bilangan Reynold rendah, sedang model *standard* merupakan model untuk Reynold tinggi

3.6.1.3 Realizable

Merupakan model pengembangan yang relatif baru dan berbeda dengan model *k-epsilon standar* dalam dua hal, yaitu:

- Terdapat formulasi baru untuk memodelkan viskositas turbulen.
- Sebuah persamaan untuk dissipasi, ε , telah diturunkan dari persamaan yang digunakan untuk menghitung fluktuasi vortisitas rata-rata.

Istilah *realizable* memiliki arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan Reynold, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihannya adalah lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida dari pancaran jet/nosel. Model ini memberikan performa yang bagus untuk aliran

yang melibatkan putaran, lapisan batas yang memiliki gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi.

Salah satu keterbatasan model *realizable k-epsilon* adalah terbentuknya viskositas turbulen non-fisik pada kasus dimana domain perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar (*multiple reference frame, sliding mesh*). Oleh karena itu, penggunaan model ini pada kasus *multiple reference frame* dan *sliding mesh* harus lebih hati-hati [9].

3.6.2. Permodelan *k-omega* ($k-\omega$)

3.6.2.1. Standard

Model yang terdapat dalam FLUENT merupakan model berdasarkan Wilcox *k-omega* yang memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan Reynold rendah, kompresibilitas, dan penyebaran aliran geser (*shear flow*). Selain itu, model ini juga mampu diaplikasikan untuk aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran (*free shear flow*) [14].

3.6.2.2. SST

Model ini dikembangkan oleh Menter untuk memadukan formulasi model *k-omega standard* yang stabil dan akurat pada daerah dekat ke dinding dengan model *k-epsilon* yang memiliki kelebihan pada aliran *free stream*. Model ini mirip dengan *k-omega standard* dengan memiliki beberapa perbaikan, yaitu:

- Model *k-omega standard* dan *k-epsilon* yang telah diubah dikalikan dengan suatu fungsi pencampuran dan kedua model digunakan bersama-sama, sehingga lebih akurat untuk daerah dekat dinding maupun untuk aliran yang jauh dari dinding dan *free stream flow*.
- Definisi viskositas turbulen dimodifikasi untuk menghitung perubahan tegangan geser turbulen.
- Konstanta model berbeda dengan model *k-omega* standar.
- Melibatkan sebuah besaran dari penurunan *damped cross diffusion* pada persamaan *omega* [14].

3.7. ADAPSI GRID

FLUENT menyediakan fitur untuk memperbaiki mesh yang telah dibuat, perbaikan mesh ini dapat berupa penghalusan dan atau pengkasaran grid berdasarkan geometri dan solusi data numerik. Sebagai tambahan, FLUENT memberikan peralatan untuk membuat dan melihat penambahan dan pengurangan adaptasi.

Dua keuntungan dari mesh tidak terstruktur dalam FLUENT yaitu:

- Lebih cepat dalam menyusun grid
- Kemampuan adaptasi untuk memperbaiki mesh

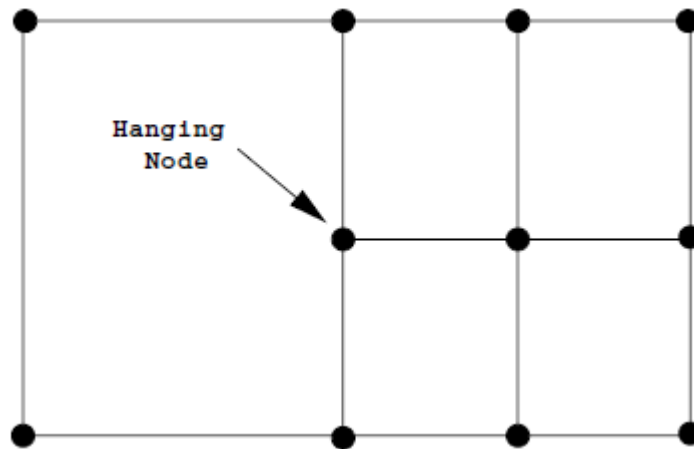
Dengan menggunakan adaptasi, dapat menambah jumlah sel di bagian mesh yang diinginkan, sehingga menghasilkan hasil yang lebih baik. Penggunaan adaptasi dengan benar maka hasil dari mesh akan optimal untuk solusi aliran karena solusi digunakan untuk menentukan dimana grid harus ditambahkan. Dengan kata lain daya komputasi tidak akan terbuang percuma oleh sel-sel yang tidak diperlukan, sama seperti yang terjadi pada pendekatan grid tersusun.

3.7.1 Proses Adaptasi

Proses adaptasi telah dipisahkan dalam dua proses yang terpisah. Pertama sel tunggal ditandai untuk penghalusan atau pengkasaran tergantung dari fungsi adaptasi dimana dibuat dari geometri dan atau dari data solusi. Berikutnya sel tersebut dihaluskan atau dikasarkan tergantung dari tanda adaptasi tersebut. Keuntungan utama yang didapat dari pendekatan ini adalah kemampuan untuk membuat fungsi adaptasi yang baik dan bereksperimen dengan fungsi adaptasi yang bervariasi tanpa merubah mesh yang telah ada.

- ***Hanging Node Adaption***

Grid-grid yang dihasilkan oleh *hanging node adaption* dikarakteristikan oleh titik-titik di atas garis dan dan bidang yang tidak bertemu dipuncak dari semua pembagian sel-sel garis dan bidang seperti digambarkan pada Gambar 3.4.

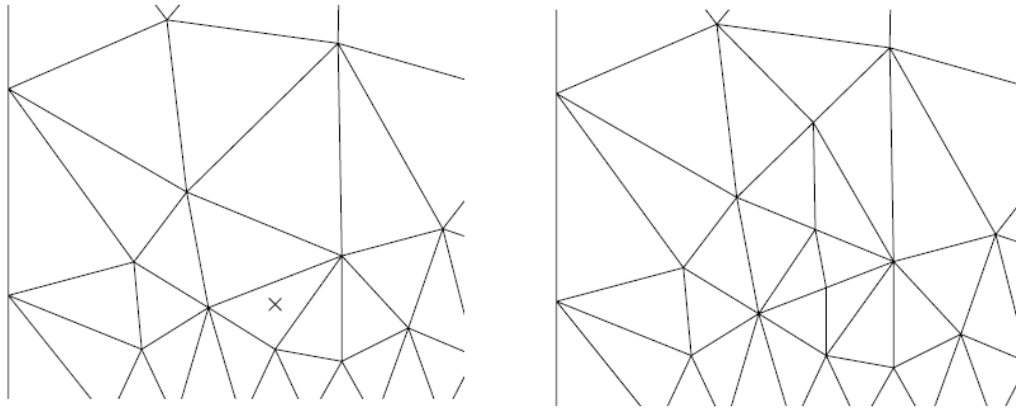


Gambar 3.4 Contoh *Hanging Node* [9].

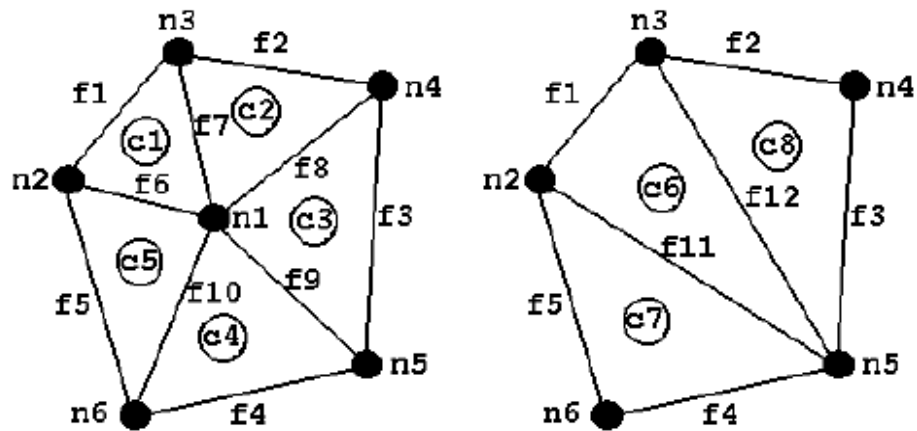
Hanging node adaption menyediakan kemampuan untuk beroperasi diatas grid-grid dengan variasi bentuk sel termasuk grid-grid *hybrid*. Namun meskipun skema *hanging node* menyediakan fleksibilitas grid dengan signifikan tetapi membutuhkan memori tambahan untuk menjaga hirarki grid yang digunakan untuk rendering dan operasi adaptasi grid.

- ***Conformal Adaption***

Proses *conformal adaption* tidak menciptakan *hanging nodes*, tetapi semua pembagian sel-sel garis atau bidang termasuk semua titik di entity tersebut. Proses penghalusan (*refinement conformal*) menambah titik-titik di garis dan pengkasaran (*coarsening conformal*) menghilangkan titik-titik dan menyegitigakan kembali ruang yang dihasilkan. Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 memperlihatkan hasil dari adaptasi *conformal*.



Gambar 3.5 Hasil *Conformal Refinement*.

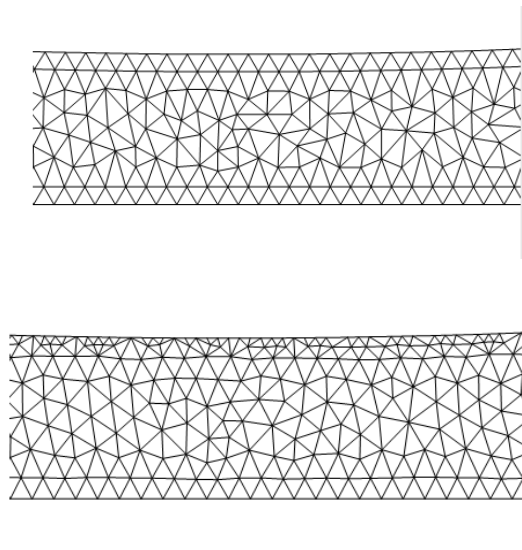


Gambar 3.6 *Conformal Coarsening* dengan Menghilangkan Titik dan Menyegitigakan Kembali [9].

3.7.2 Adapsi y^+ dan y^*

FLUENT menyediakan tiga pilihan berbeda untuk model turbulensi di dekat dinding (*near-wall modeling of turbulence*) yaitu *standard wall functions*, *nonequilibrium wall functions*, dan *the two-layer model*. Ada syarat-syarat mesh tertentu untuk tiap pilihan model turbulensi di dekat dinding ini. Tetapi ada kesulitan untuk mengukur syarat-syarat resolusi dekat dinding, y^+ dan y^* adapsi disediakan

untuk memungkinkan ketepatan memperhalus atau mengkasarkan mesh sepanjang dinding selama proses solusi. Hasil dari adaptasi menggunakan y^+ dan y^* dapat dilihat pada Gambar 3.11. Bila two-layer model digunakan sebagai model turbulensi di dekat dinding maka dapat menggunakan y^+ sebagai adaptasinya, tetapi bila wall function dapat menggunakan y^+ atau y^* .



Gambar 3.7 Hasil Meshing Menggunakan Adaptasi y^+ [9].

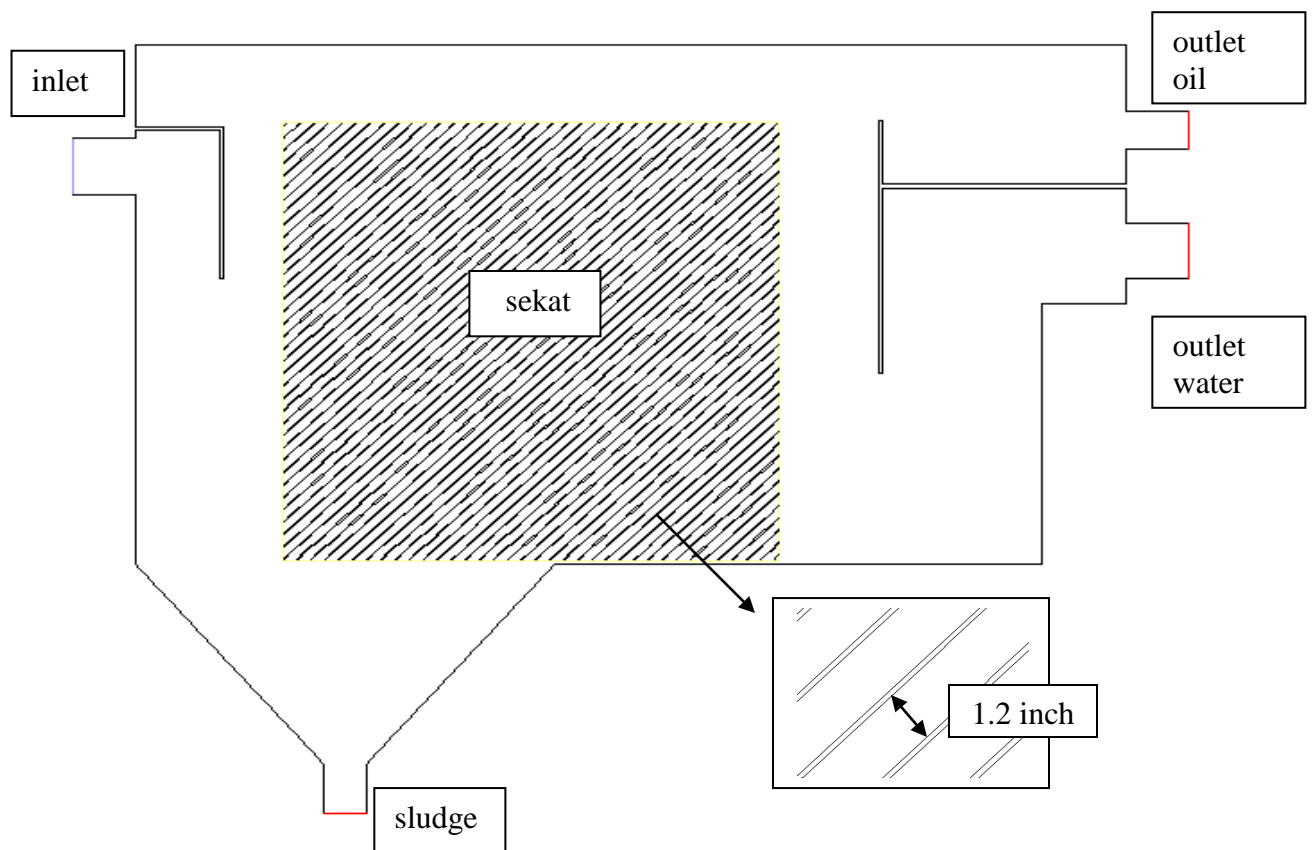
Pendekatan untuk menghitung y^+ dan y^* untuk batas sel-sel di zona dinding spesifik, tentukan nilai minimum dan maksimum yang diijinkan, y^+ atau y^* dan tandai dan atau adaptasi sel-sel yang tepat. Sel-sel dengan nilai y^+ atau y^* dibawah batas yang diijinkan akan ditandai untuk dikasarkan dan sel-sel dengan nilai y^+ atau y^* diatas batas maksimum yang diijinkan akan ditandai untuk dihaluskan [9].

3.8. Pemodelan Bentuk dan Simulasi Numerik pada Fluent 6.3.26

3.8.1 Pemodelan Bentuk

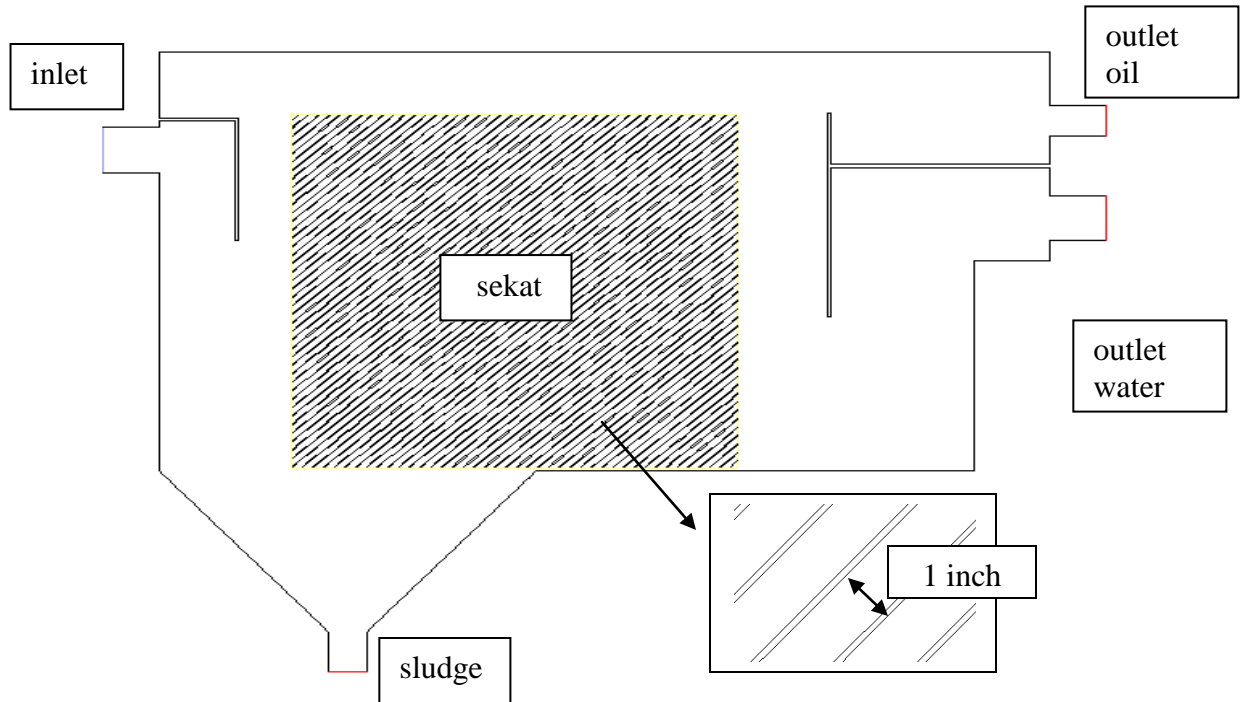
Sebuah coalescer dengan lebar 1.6256 meter, panjang 2.3622 meter, dan tinggi 2.0066 meter dan didalam coalescer terdapat sekat dengan jarak 1 inch, 1.2 inch, dan 1.5 inch. Adapun batas-batas daerah dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

3.8.1.1 Bentuk coalescer dengan sekat 1.2 inch



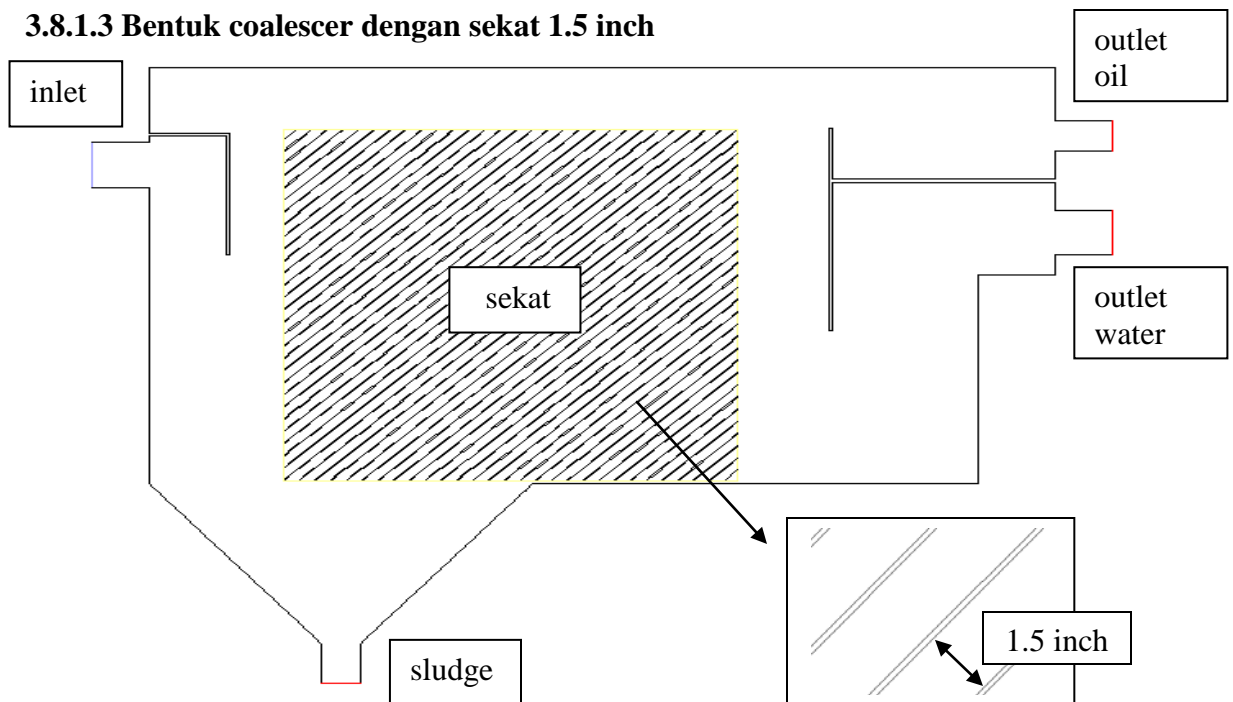
Gambar 3.8 Gambar Coalescer sekat 1.2 inch

3.8.1.2 Bentuk coalescer dengan sekat 1 inch



Gambar 3.9 Gambar coalescer sekat 1 inch

3.8.1.3 Bentuk coalescer dengan sekat 1.5 inch



Gambar 3.10 Gambar coalescer sekat 1.5 inch

Tabel 3.1 Karakteristik

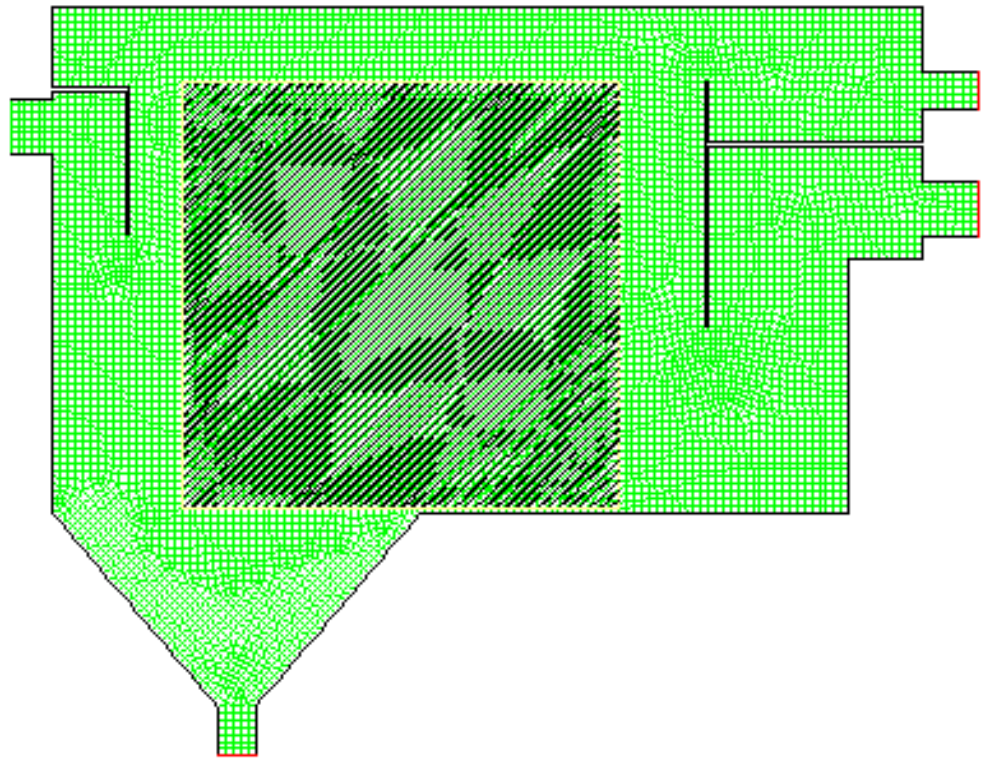
Characteristic		Units	Value
Model	OS – 80	GPM	240
Vessel Dimension	Width	m	1.6256
	Hight	m	2.0066
	Length	m	2.3622
Nozzle Nominal Diameter	Inlet	m	0.1524
	Water Outlet	m	0.1524
	Oil Outlet	m	0.1016
	Sludge Outlet	m	0.1016
Operating Condition	Operating Pressure	psig	88
Density	Oil	kg/m ³	824.3
	Water	kg/m ³	996.2
Mass flow	Oil	kg/s	0.0032155
	Water	kg/s	6.4276845

3.8.2 Pembentukan Mesh

Ukuran *mesh* yang diterapkan pada model akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD. Semakin kecil ukuran *mesh* pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *mesh* yang memiliki ukuran lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Jenis volume *meshing* seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Jenis Volume *Meshing*

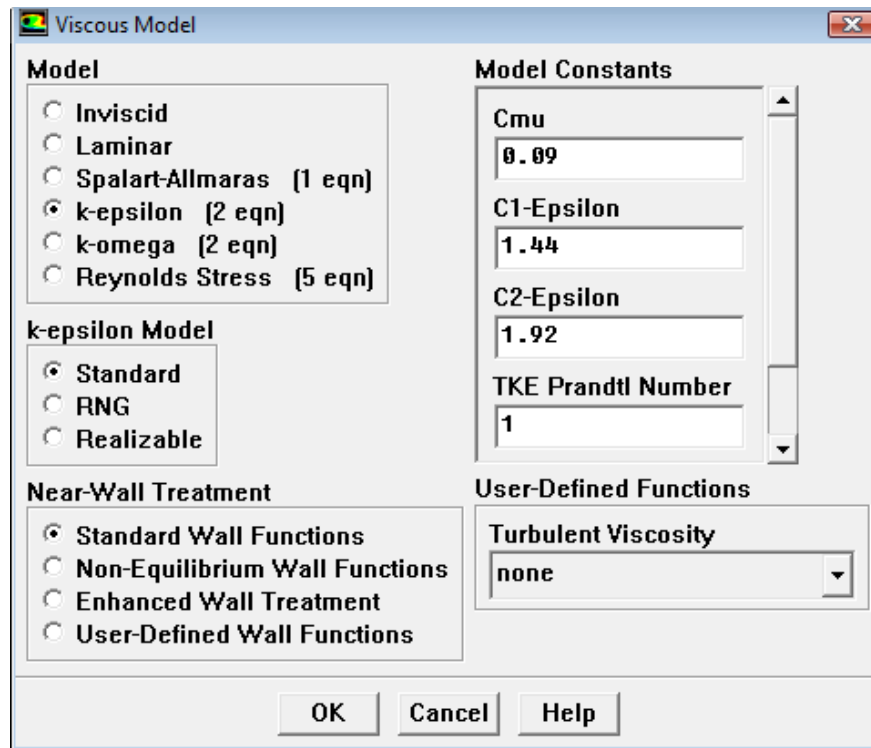
<i>Elements</i>	<i>Quad</i>
<i>Type</i>	<i>Pave</i>
<i>Internal size</i>	0.02



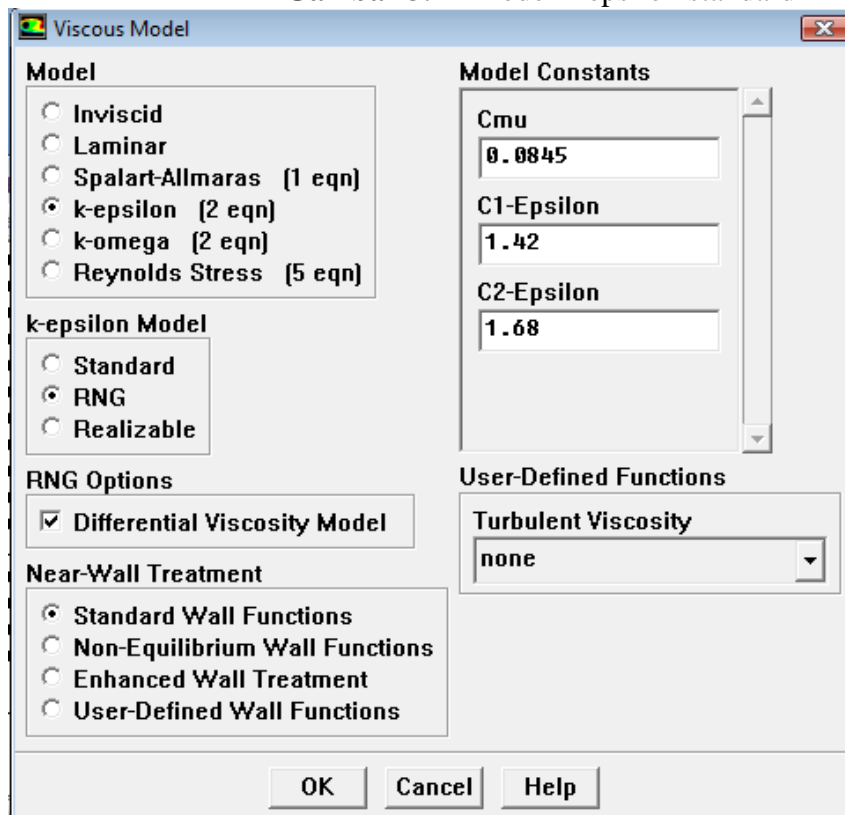
Gambar 3.11 Gambar Mesh Coalescer

3.8.3 Solver dan Model Turbulensi

Simulasi pada tugas akhir ini menggunakan solver unsteady dan menggunakan model *k-epsilon*, model *k-epsilon standard* dan *k epsilon RNG*, dan near wall treatment *standard wall function*. Gambar 3.12 dan 3.13 menunjukkan pengisian model yang digunakan.



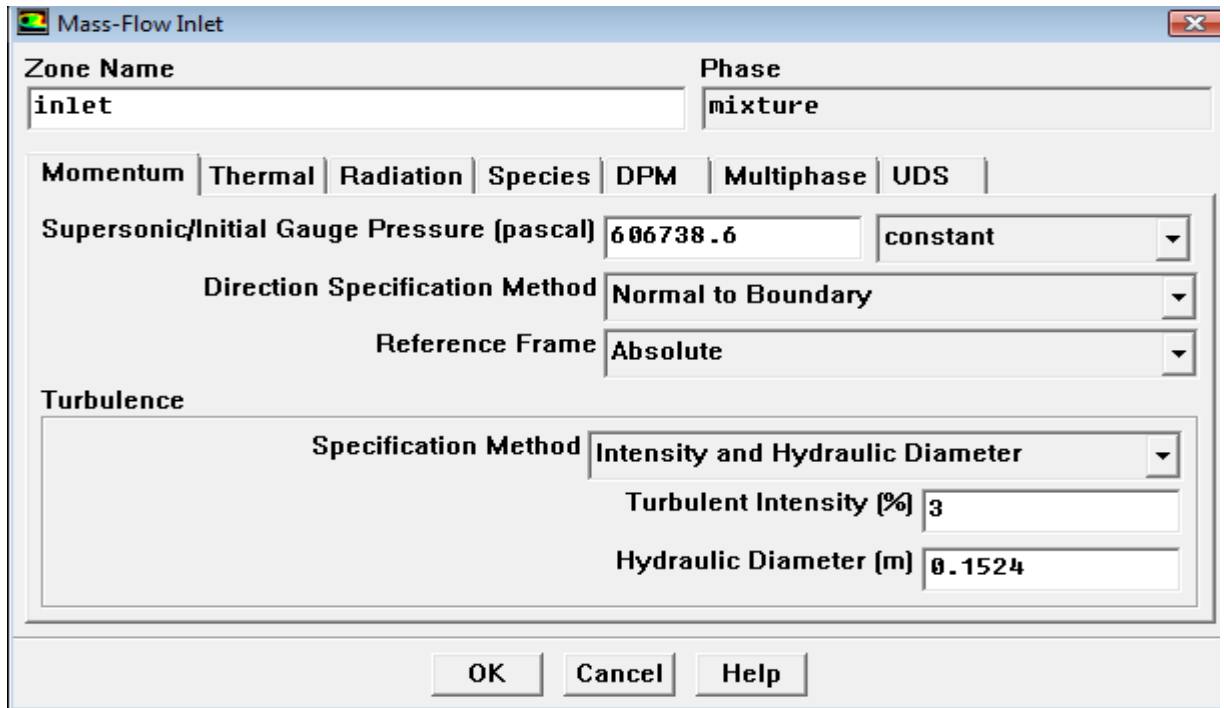
Gambar 3.12 Model k epsilon standard



Gambar 3.13 Model k epsilon RNG

3.8.4 Pendefinisian Kondisi Batas

a. Mass flow inlet



Gambar 3.14 Model Mass flow inlet

Dimana turbulen menggunakan rumus:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.1)$$

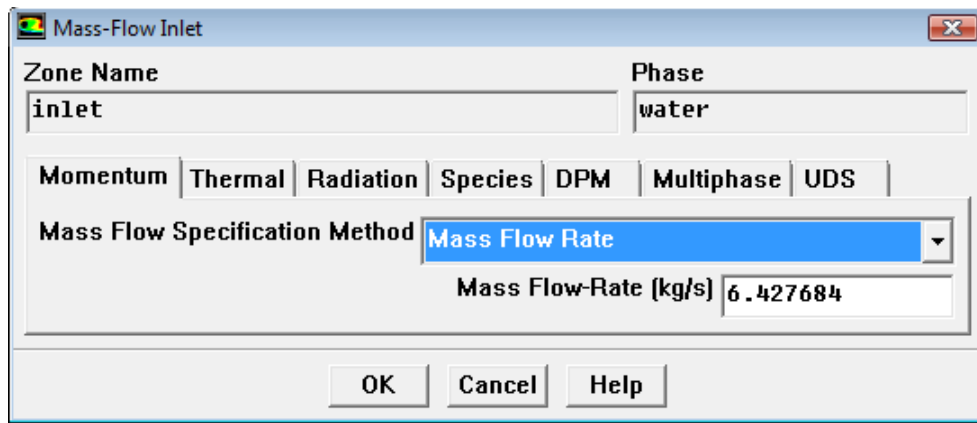
a. Masukan nilai 3 % pada turbulent intensity

Turbuleny intensity dapat dihitung menggunakan rumus:

$$T.I = 0.16 \times Re^{-1/8} \quad (3.2)$$

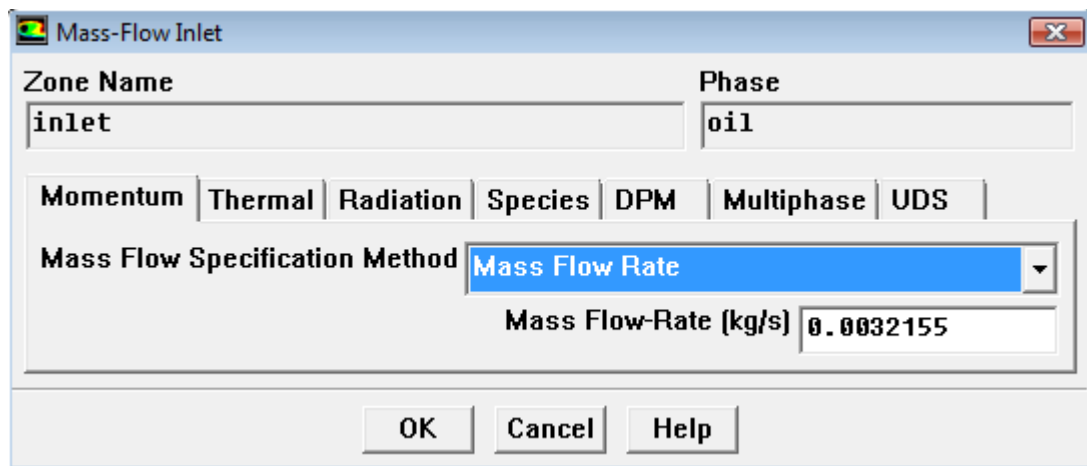
b. Masukan 0.1524 pada hydraulic diameter

b. Mass flow inlet water



Gambar 3.15 Model Mass flow inlet water

c. Mass flow inlet oil



Gambar 3.16 Model Mass flow inlet oil

d. Out flow oil




The screenshot shows a software window titled "Outflow". It contains three input fields: "Zone Name" with the text "oil", "Phase" with a dropdown menu showing "mixture", and "Flow Rate Weighting" with the text "0.0005". At the bottom of the window are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Gambar 3.17 Model outflow oil

Masukkan 0.0005 pada flow rate weightinh, yang didapat dari:

$$Flow\ rate\ weighting = \frac{0.0032155}{6.4309} = 0.0005$$

e. Out flow water



The screenshot shows a software window titled "Outflow". It contains three input fields: "Zone Name" with the text "water", "Phase" with a dropdown menu showing "mixture", and "Flow Rate Weighting" with the text "0.9995". At the bottom of the window are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Gambar 3.18 Model outflow water

Masukkan 0.9995 pada flow rate weightinh, yang didapat dari:

$$Flow\ rate\ weighting = \frac{6.4276845}{6.4309} = 0.9995$$

BAB IV

HASIL SIMULASI

4.1 Hasil Analisa Simulasi

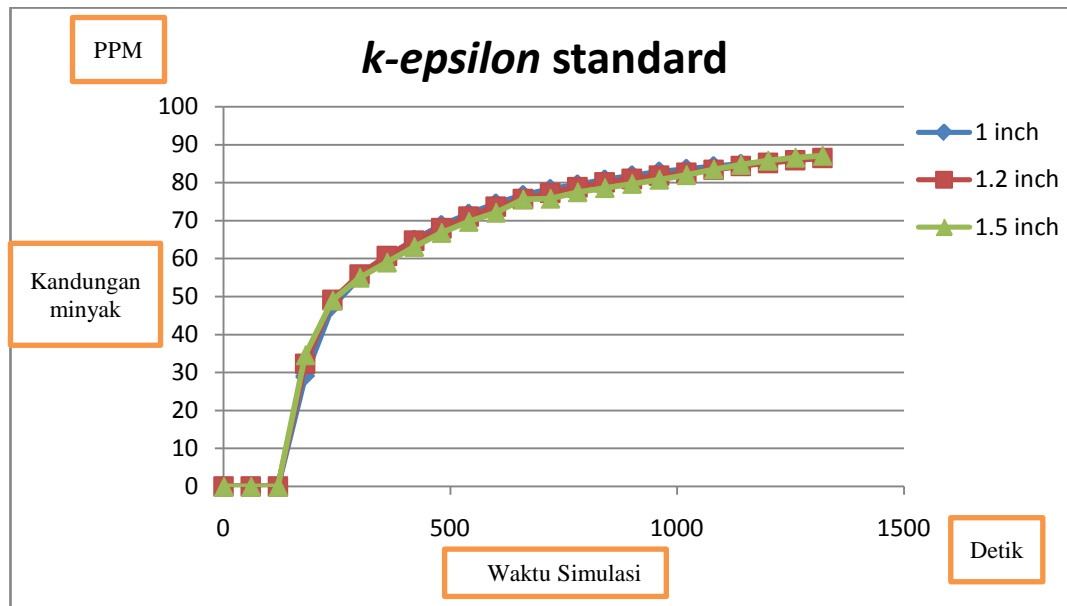
Simulasi coalescer menggunakan model cell antara 1.000 hingga 10.000 dan 10.000 hingga 20.000. Simulasi menggunakan beberapa model *k-epsilon* ($k-\varepsilon$) dan *k-omega* ($k-\omega$) yaitu k-epsilon ($k-\varepsilon$) standard, k-epsilon ($k-\varepsilon$) RNG, k-omega ($k-\omega$) standard, dan k-omega ($k-\omega$) SST yang akan di bandingkan dengan hasil oil water separator (coalescer) yaitu kandungan minyaknya 10 ppm.

4.1.1 Hasil Simulasi dengan Beberapa Model *k-epsilon* ($k-\varepsilon$) dan *k-omega* ($k-\omega$)

Simulasi ini dilakukan dengan model k-epsilon ($k-\varepsilon$) dan k-omega ($k-\omega$) yaitu k-epsilon ($k-\varepsilon$) standard, k-epsilon ($k-\varepsilon$) RNG, k-omega ($k-\omega$) standard dan k-omega ($k-\omega$) SST dengan variasi jarak sekat 1 inch, 1.2 inch, dan 1.5 inch dengan jumlah cell 1.000 hingga 10.000. Pada Gambar 4.1 hingga 4.4 menunjukkan sumbu absis yang menerangkan tentang waktu simulasi sedangkan sumbu ordinat yang menerangkan kandungan minyak. Pada model k-epsilon ($k-\varepsilon$) standard dilakukan waktu simulasi 1320 detik sedangkan untuk model k-epsilon ($k-\varepsilon$) RNG, k-omega ($k-\omega$) standard dan k-omega ($k-\omega$) SST dilakukan waktu simulasi 660 detik.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Model *k-epsilon* ($k-\varepsilon$) Standard

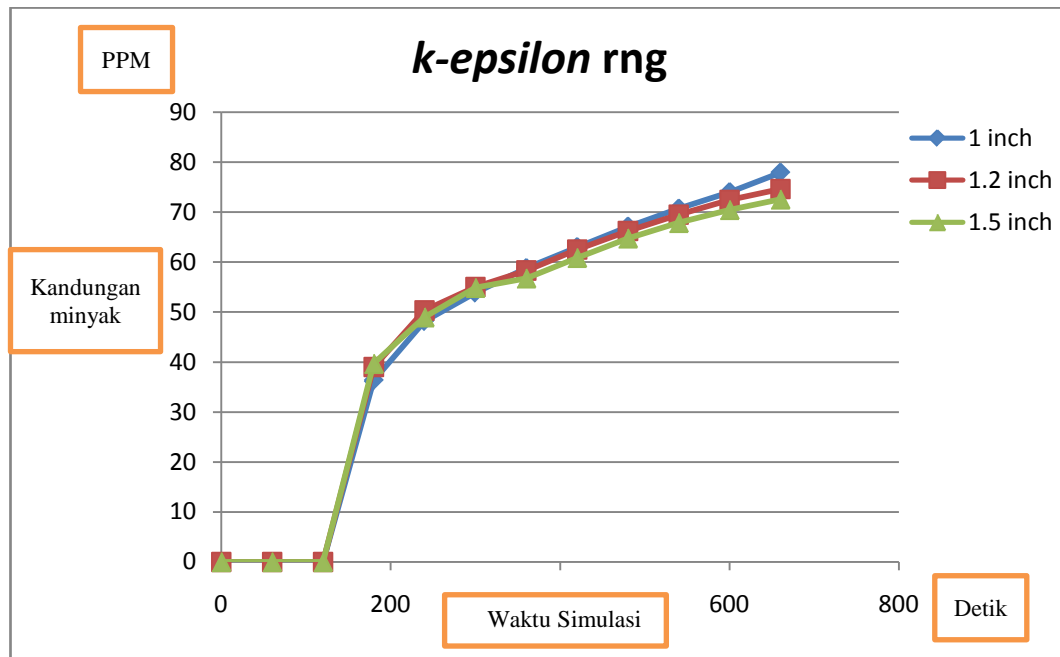
Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)	Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0	720	78.3	77.3	75.8
120	0	0	0	780	79.5	78.8	77.5
180	28.9	32.3	34.6	840	80.8	80.1	78.6
240	47.4	49.1	49	900	81.9	81	79.7
300	55	55.8	55	960	82.9	81.9	80.8
360	60.5	60.7	59	1020	83.6	82.6	82
420	64.9	64.7	63.1	1080	84.3	83.4	83.5
480	68.8	68	66.8	1140	84.9	84.4	84.7
540	71.8	71.1	69.7	1200	85.4	85.2	85.8
600	74.5	73.7	72.1	1260	85.9	85.9	86.6
660	76.7	75.7	75.6	1320	86.6	86.5	87.1



Gambar 4.1 Perbandingan grafik hasil berapa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) standard.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) RNG

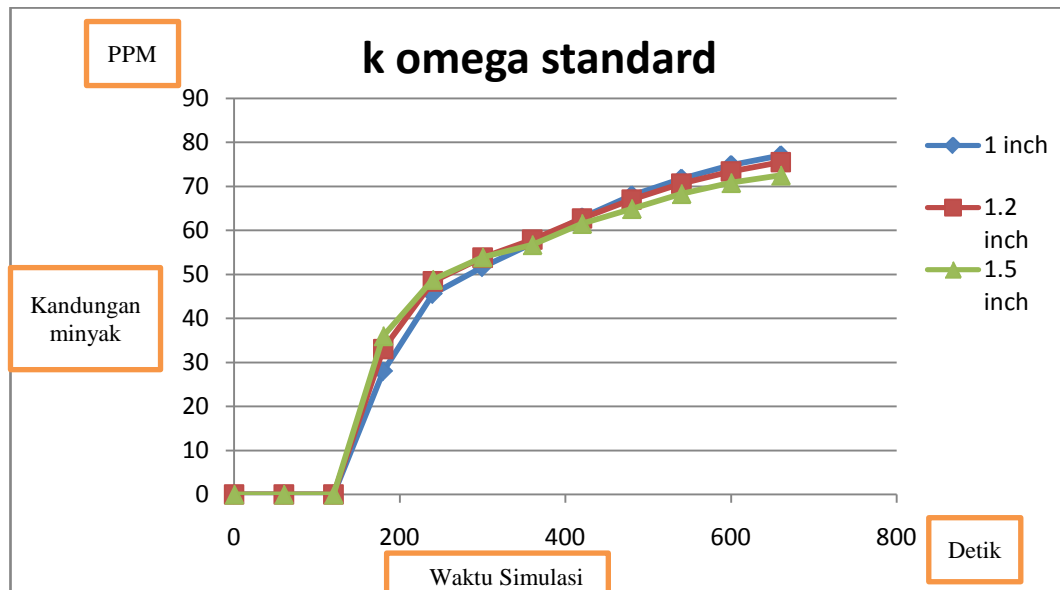
Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0
120	0	0	0
180	36.3	39	39.7
240	48.2	50.3	49
300	53.9	55	54.9
360	58.8	58.3	56.8
420	63	62.5	60.9
480	67.1	66.2	64.8
540	70.7	69.5	67.9
600	74	72.4	70.5
660	77.9	74.6	72.6



Gambar 4.2 Perbandingan grafik hasil berupa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) RNG.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Model *k-omega* ($k-\omega$) Standard

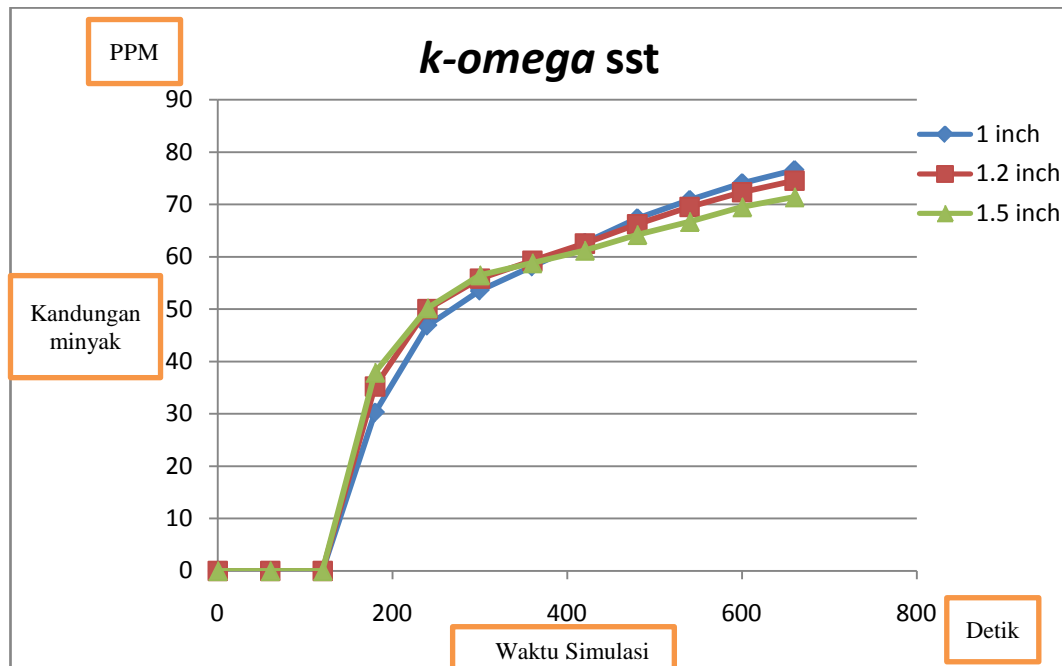
Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0
120	0	0	0
180	27.9	33	36
240	45.5	48.4	48.8
300	51.6	53.8	53.9
360	57	57.9	56.7
420	62.9	62.7	61.5
480	67.9	67	64.9
540	71.7	70.6	68.3
600	74.8	73.4	70.8
660	77	75.5	72.5



Gambar 4.3 Perbandingan grafik hasil berapa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-omega* ($k-\omega$) standard.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Model *k-omega* ($k-\omega$) SST

Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0
120	0	0	0
180	30.2	35.2	37.9
240	46.8	50	50.2
300	53.5	55.8	56.5
360	58.1	59.2	58.8
420	62.6	62.5	61.2
480	67.3	66.2	64.2
540	70.8	69.5	66.7
600	74	72.3	69.5
660	76.5	74.5	71.4

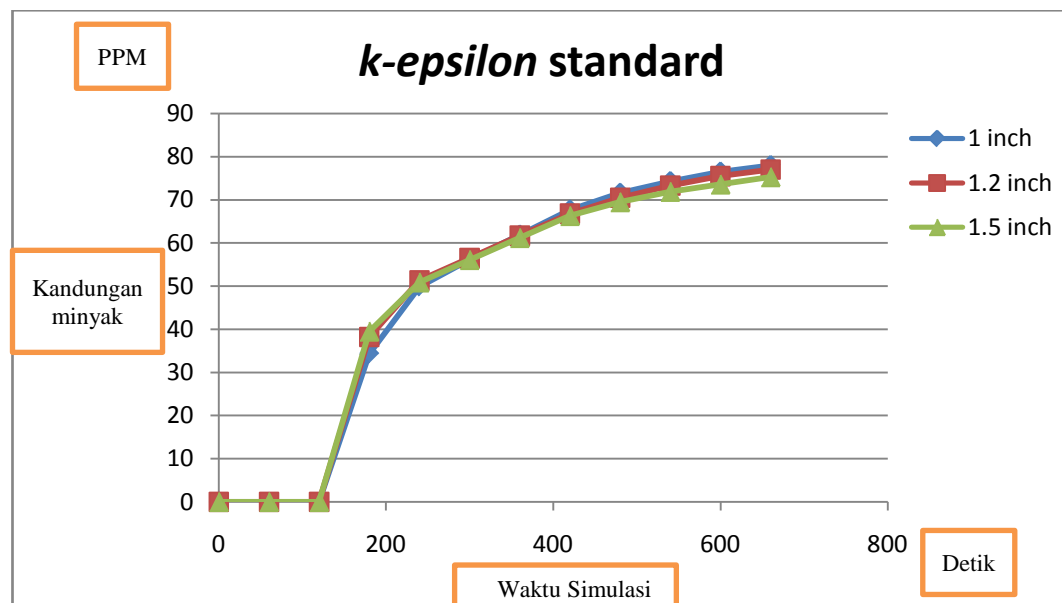


Gambar 4.4 Perbandingan grafik hasil berapa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-omega* ($k-\omega$) SST.

Tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 menunjukkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch dengan menggunakan model k-epsilon ($k-\epsilon$) standard, k-epsilon ($k-\epsilon$) RNG, k-omega ($k-\omega$) standard dan k omega ($k-\omega$) SST. Gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan pada detik ke 60 sampai detik ke 120 belum terlihat kandungan minyak yang didapatkan karena dibutuhkan waktu simulasi untuk mencapai tempat keluarnya air. Pada Gambar 4.1 menunjukkan pada detik ke 180 sampai 1320 sudah mulai terlihat kandugan minyak yang didapatkan tiap jarak sekatnya dan terus mengalami peningkatan kandungan minyak. Pada Gambar 4.2, 4.3, 4.4 pada detik ke 180 sampai 660 sudah mulai terlihat kandungan minyak yang didapatkan tiap jarak sekatnya dan mengalami peningkatan kandungan minyak tiap waktu simulasinya. Dilihat pada detik 180 didapatkan kandungan minyak yang terendah yaitu pada sekat 1 inch.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) Standard

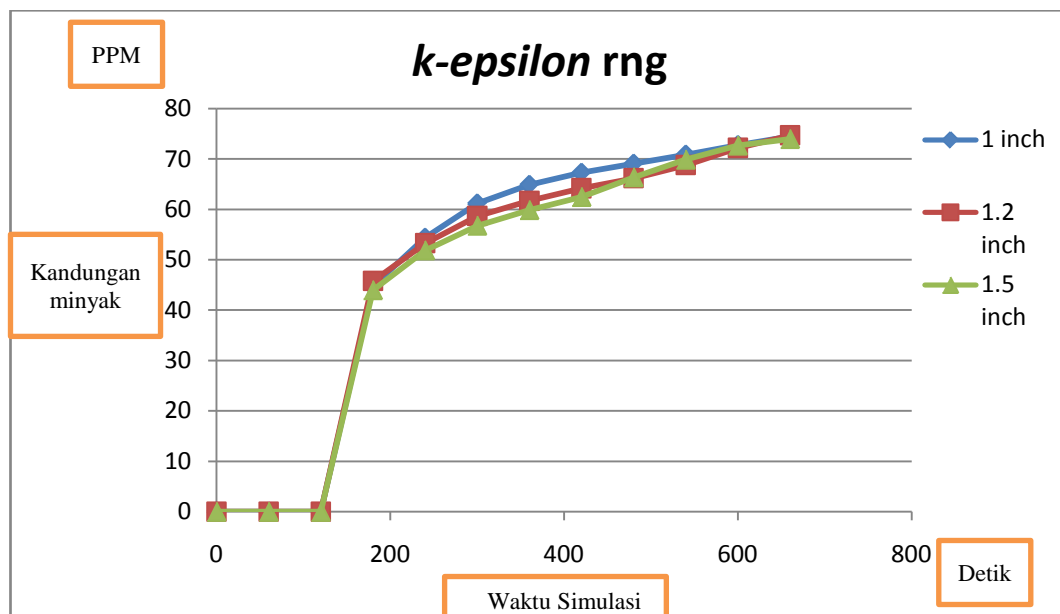
Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0
120	0	0	0
180	34.3	38.2	39.5
240	49.9	51.3	50.9
300	56.2	56.5	56.1
360	61.9	61.7	61.2
420	67.7	66.8	66.3
480	71.6	70.5	69.5
540	74.3	73.3	71.9
600	76.5	75.5	73.6
660	78	77	75.3



Gambar 4.5 Perbandingan grafik hasil berapa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) standard.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) RNG

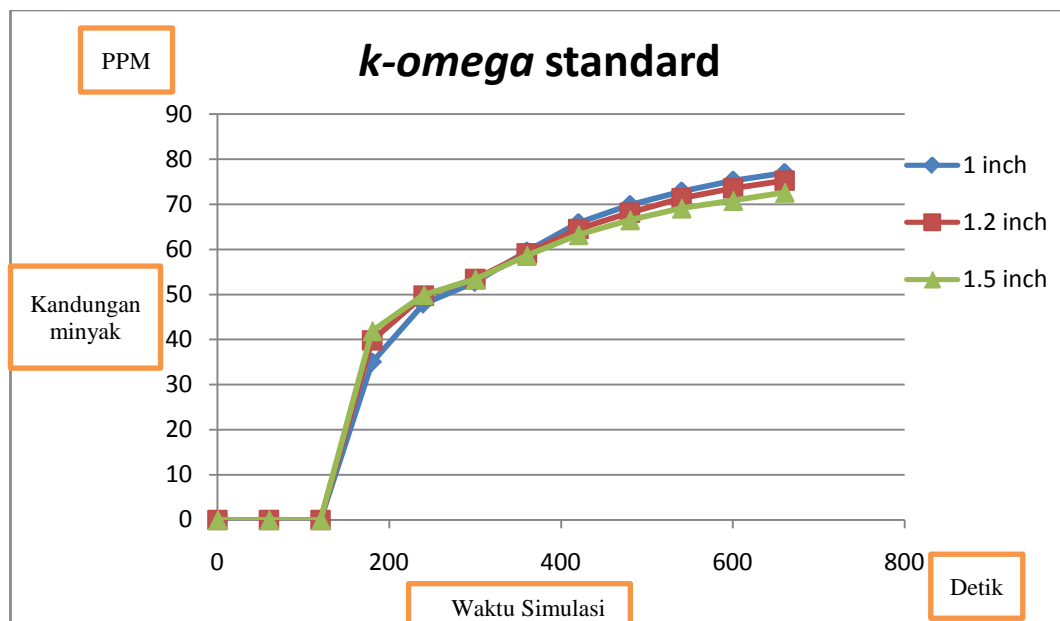
Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
60	0	0	0
120	0	0	0
180	44.8	45.8	44
240	54.4	53.3	51.9
300	61.2	58.7	56.8
360	64.9	61.7	59.9
420	67.3	64.2	62.5
480	69.1	66.2	66.4
540	70.9	68.8	69.9
600	72.8	72.2	72.7
660	74.5	74.7	74



Gambar 4.6 Perbandingan grafik hasil berapa PPM yang terjadi pada jarak sekati 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model *k-epsilon* ($k-\epsilon$) RNG.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Model k - ω (k - ω) Standard

Detik	1 inch (PPM)	1.2inch (PPM)	1.5inch (PPM)
0	0	0	0
60	0	0	0
120	0	0	0
180	34.9	39.8	41.9
240	47.9	49.7	49.9
300	52.7	53.4	53.4
360	59.5	59.1	58.6
420	65.8	64.5	63.2
480	69.8	68.1	66.5
540	72.8	71.3	69.1
600	75.2	73.5	70.8
660	76.9	75.2	72.6



Gambar 4.7 Perbandingan grafik hasil berupa PPM yang terjadi pada jarak sekat 1, 1.2, dan 1.5 inch dengan model k - ω (k - ω) standard.

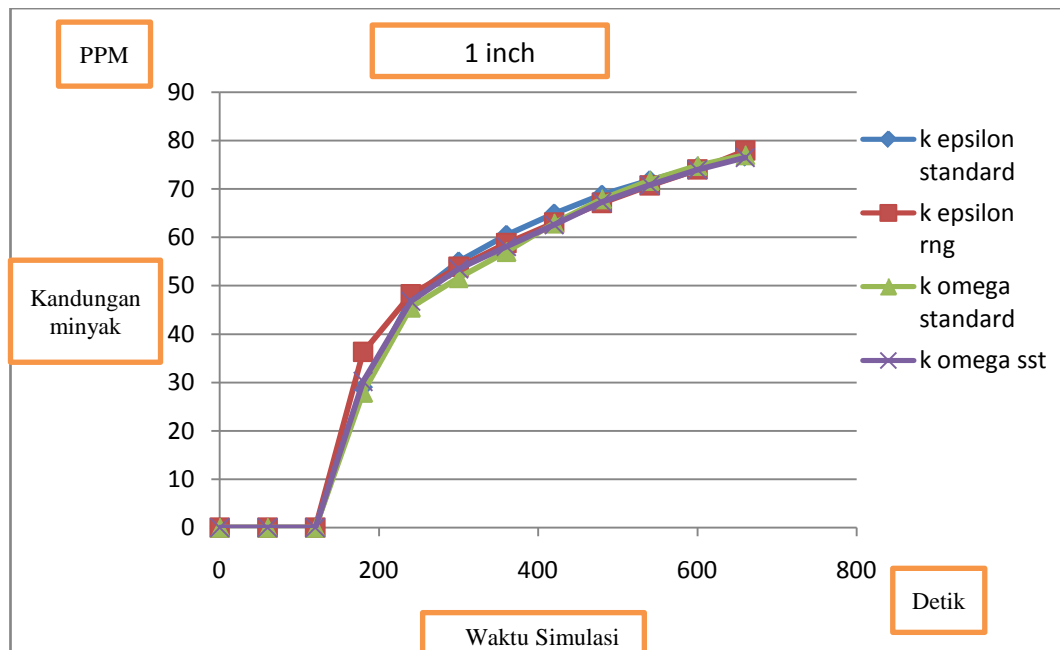
Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan Gambar 4.5, 4.6, 4.7 menunjukkan hasil data simulasi dan grafik perbandingan jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch dengan menggunakan model k-epsilon ($k-\epsilon$) standard, k-epsilon ($k-\epsilon$) RNG, k-omega ($k-\omega$) standard dengan jumlah cell 10.000 hingga 20.000. Pada Gambar 4.5 hingga 4.7 menunjukkan sumbu absis yang menerangkan tentang waktu simulasi sedangkan sumbu ordinat yang menerangkan kandungan minyak. Gambar 4.5, 4.6, 4.7 menunjukkan pada detik ke 60 sampai 120 belum terlihat kandungan minyak yang didapatkan karena dibutuhkan waktu simulasi untuk mencapai tempat keluarnya air. Pada detik ke 180 sampai 660 mulai terlihat kandungan minyak yang didapatkan dan mengalami peningkatan kandungan minyak tiap waktu simulasinya dan pada detik 180 mendapatkan kandungan minyak yang terendah yaitu jarak sekat 1 inch.

Dapat disimpulkan dari berbagai cara yang dilakukan pada simulasi coalescer dan hasil yang didapatkan dengan menggunakan beberapa model k-epsilon ($k-\epsilon$) dan k-omega ($k-\omega$) dengan cell 1.000 hingga 10.000 dan 10.000 hingga 20.000 dapat dilihat bahwa yang mendekati hasil referensi 10 ppm yaitu dengan menggunakan sekat 1 inch pada detik ke 180 yaitu 27 ppm sampai 40 ppm karena sekat tersebut memiliki jarak yang kecil dan juga pengaruh viskositas (kekentalan) karena minyak memiliki viskositas yang lebih besar dari pada air, pada saat minyak melewati sekat tersebut minyak akan menempel di sekat tersebut dan menghambat aliran minyak tersebut sehingga mendapatkan kandungan minyak yang lebih kecil dari pada sekat 1,2 inch dan 1,5 inch.

Simulasi ini menggunakan jarak sekat yaitu 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch dengan menggunakan beberapa model k-epsilon ($k-\epsilon$) dan k-omega ($k-\omega$). Pada Gambar 4.8 hingga 4.10 menunjukkan sumbu absis yang menerangkan tentang waktu simulasi sedangkan sumbu ordinat yang menerangkan kandungan minyak.

Tabel 4.8 Hasil Model Simulasi 1 Inch

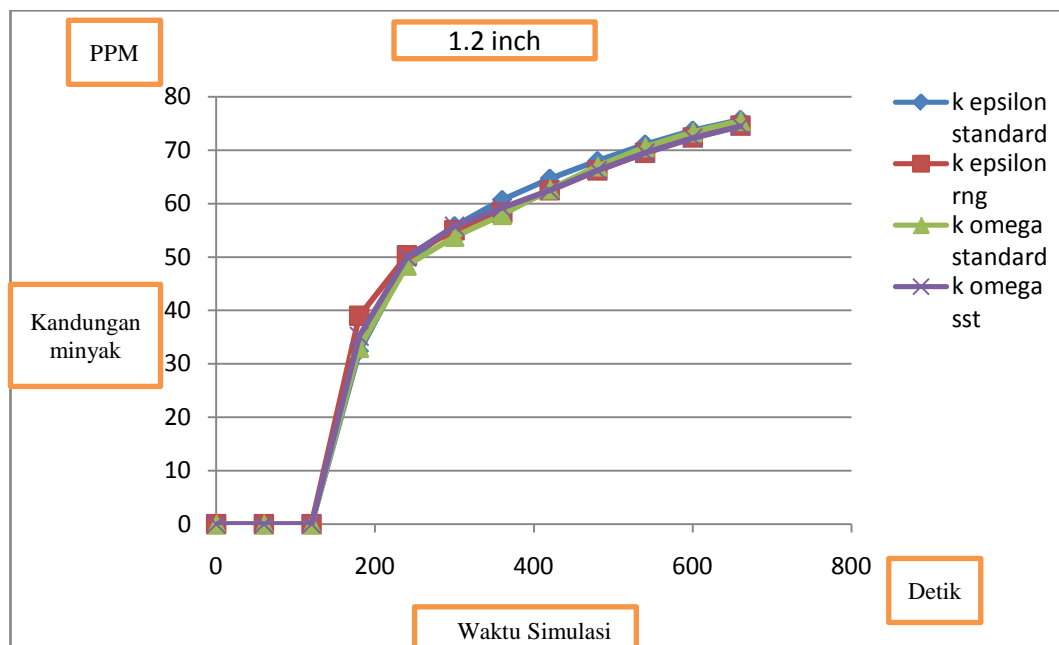
Detik	k -epsilon ($k-\epsilon$) standard (PPM)	k -epsilon ($k-\epsilon$) RNG (PPM)	k -omega ($k-\omega$) standard (PPM)	k -omega ($k-\omega$) SST (PPM)
60	0	0	0	0
120	0	0	0	0
180	28.9	36.3	27.9	30.2
240	47.4	48.2	45.5	46.8
300	55	53.9	51.6	53.5
360	60.5	58.8	57	58.1
420	64.9	63	62.9	62.6
480	68.8	67.1	67.9	67.3
540	71.8	70.7	71.7	70.8
600	74.5	74	74.8	74
660	76.7	77.9	77	76.5



Gambar 4.8 Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1 inch.

Tabel 4.9 Hasil Model Simulasi 1.2 Inch

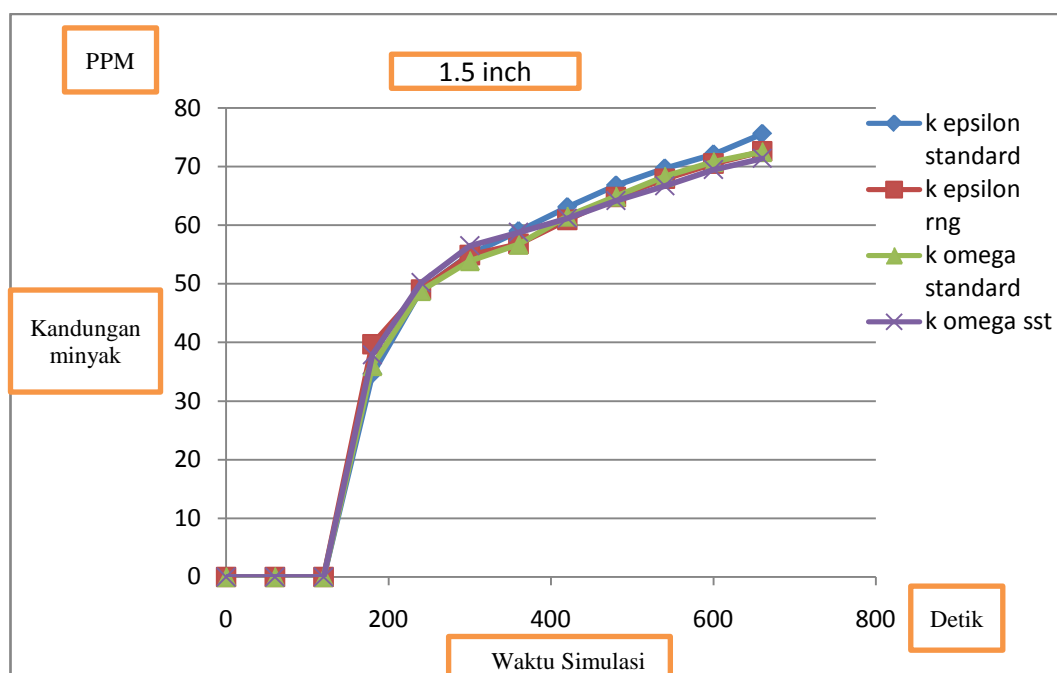
Detik	k -epsilon(k - ϵ) standard (PPM)	k -epsilon(k - ϵ) RNG (PPM)	k -omega (k - ω) standard (PPM)	k -omega (k - ω) SST (PPM)
60	0	0	0	0
120	0	0	0	0
180	32.3	39	33	35.2
240	49.1	50.3	48.4	50
300	55.8	55	53.8	55.8
360	60.7	58.3	57.9	59.2
420	64.7	62.5	62.7	62.5
480	68	66.2	67	66.2
540	71.1	69.5	70.6	69.5
600	73.7	72.4	73.4	72.3
660	75.7	74.6	75.5	74.5



Gambar 4.9 Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1.2 inch.

Tabel 4.10 Hasil Model Simulasi 1.5 Inch

Detik	$k\text{-epsilon}(k\text{-}\epsilon)$ standard (PPM)	$k\text{-epsilon}(k\text{-}\epsilon)$ RNG (PPM)	$k\text{-omega}(k\text{-}\omega)$ standard (PPM)	$k\text{-omega}(k\text{-}\omega)$ SST (PPM)
60	0	0	0	0
120	0	0	0	0
180	34.6	39.7	36	37.9
240	49	49	48.8	50.2
300	55	54.9	53.9	56.5
360	59	56.8	56.7	58.8
420	63.1	60.9	61.5	61.2
480	66.8	64.8	64.9	64.2
540	69.7	67.9	68.3	66.7
600	72.1	70.5	70.8	69.5
660	75.6	72.6	72.5	71.4

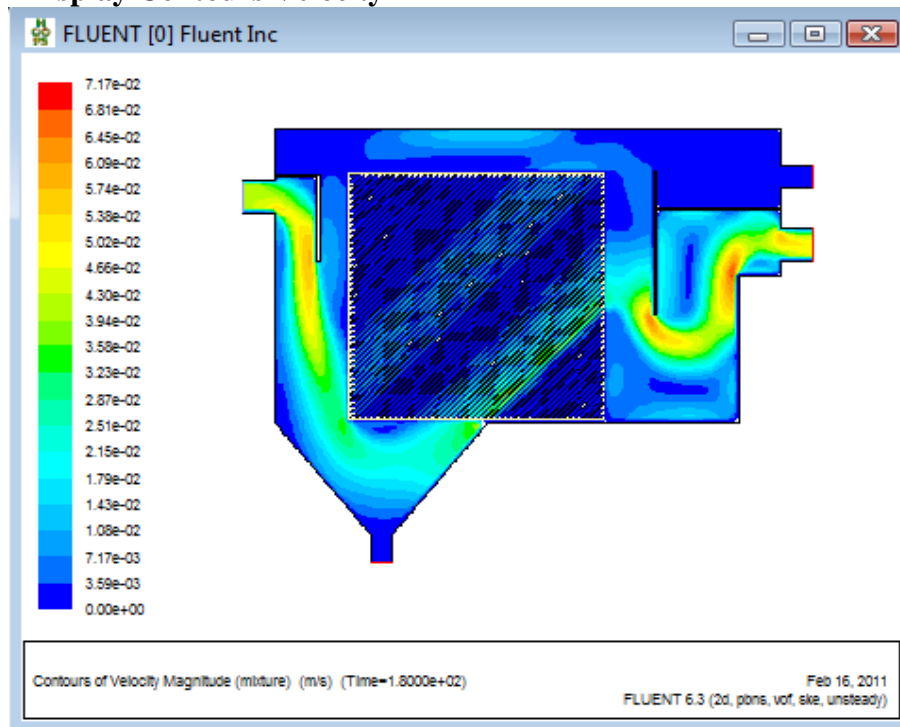


Gambar 4.10 Gambar grafik perbandingan permodelan pada jarak sekat 1.5 inch.

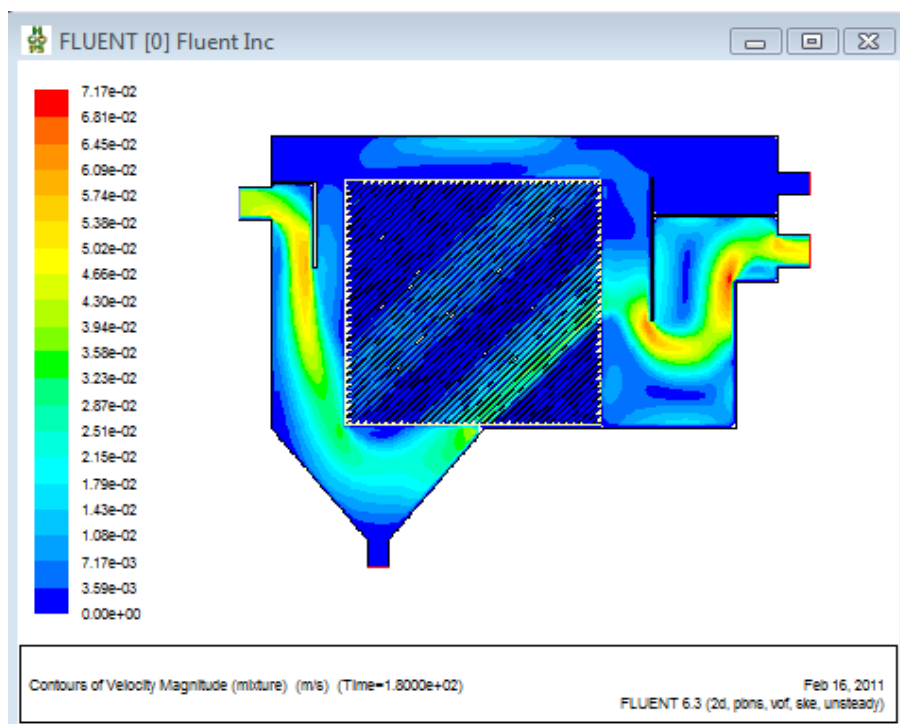
Tabel 4.8 hingga 4.10 dan Gambar 4.8 hingga 4.10 menunjukkan data hasil simulasi dan grafik perbandingan permodelan tiap jaraknya, maka didapatkan hasilnya yaitu jarak sekat 1 inch yang mendekati hasil referensi kandungan minyak 10 ppm yaitu pada model k-epsilon dengan kandungan minyak 28.9 dan k-omega standard dengan kandungan minyak 27.9 ppm, dengan jarak sekat 1.2 inch pada model k-epsilon standard dengan kandungan minyak 32.3 ppm dan untuk 1.5 inch pada model k-epsilon standard dengan kandungan minyak 34.6 inch. Model k-epsilon lebih mendekati hasil data referensi dibandingkan dengan model yang lain. Hal itu disebabkan oleh kecenderungan model ini memiliki tingkat akurasi yang cukup memadai untuk simulasi fluida.

4.2 Penggambaran Display dan velocity Vectors didalam Coalescer

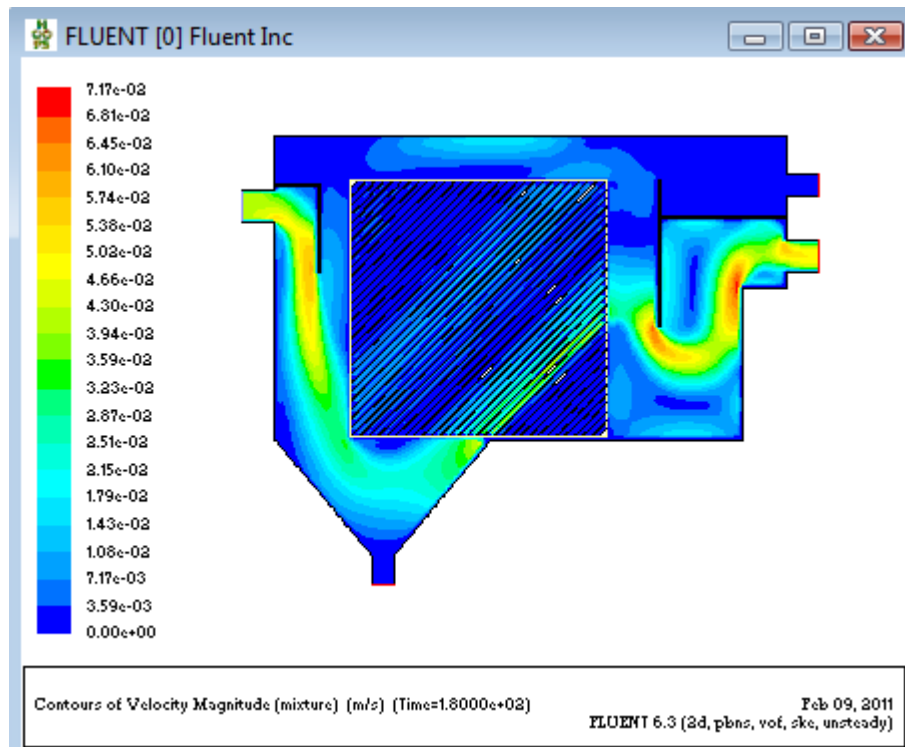
4.2.1 Display Contours Velocity



Gambar 4.11 Gambar contours velocity coalescer sekat 1 inch pada detik ke 180.



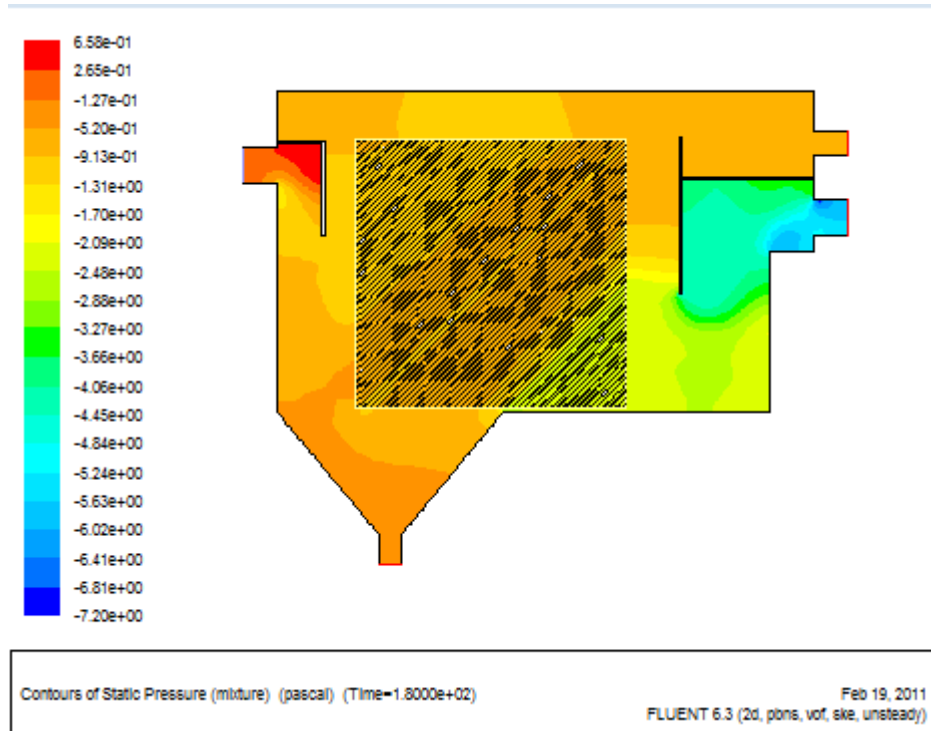
Gambar 4.12 Gambar contours velocity coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 180.



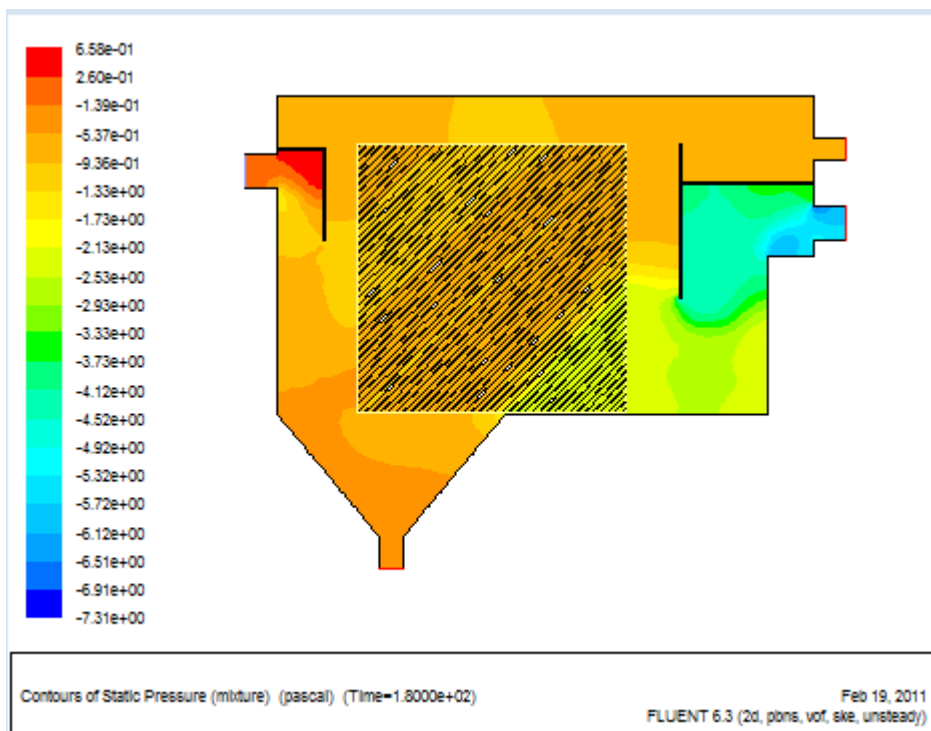
Gambar 4.13 Gambar contours velocity coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 180.

Gambar 4.11, 4.12, 4.13 menunjukkan counturs kecepatan pada tiap jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch. Pada Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 menunjukkan counturs kecepatan sama akan tetapi pada saat memasuki sekat (media flopak) terjadi perbedaan karena sekat 1 inch memiliki jarak sekat yang lebih kecil sehingga sewaktu memasuki sekat akan tertahan dan kecepatannya lebih kecil dibandingkan dengan jarak sekat 1.2 inch dan 1.5 inch.

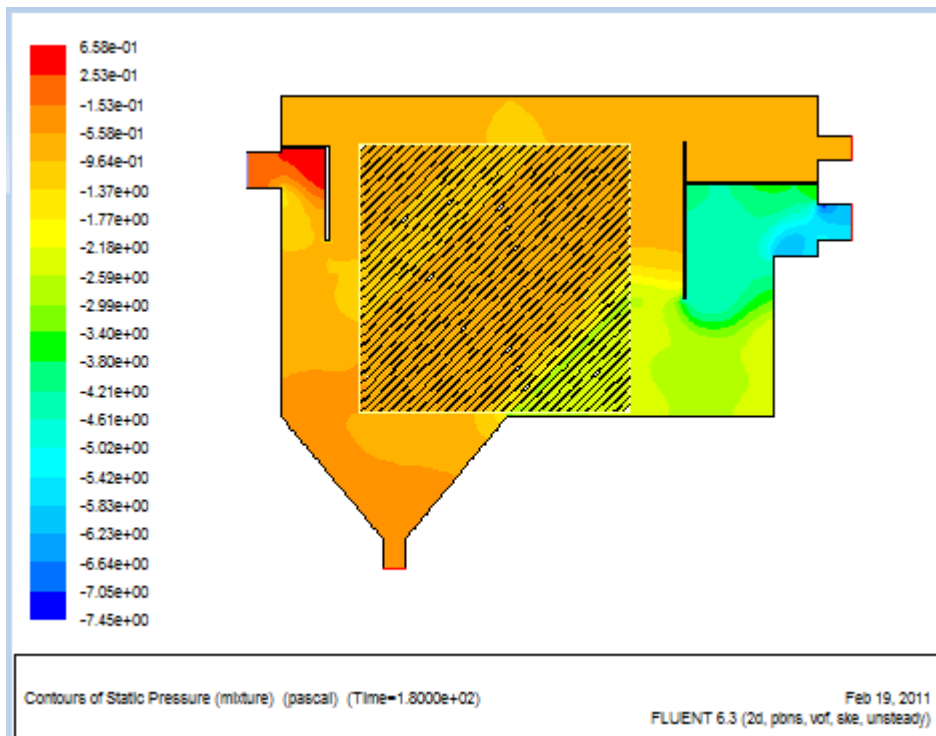
4.2.2 Display Contours Pressure



Gambar 4.14 Gambar contours pressure coalescer sekat 1 inch pada detik ke 180.



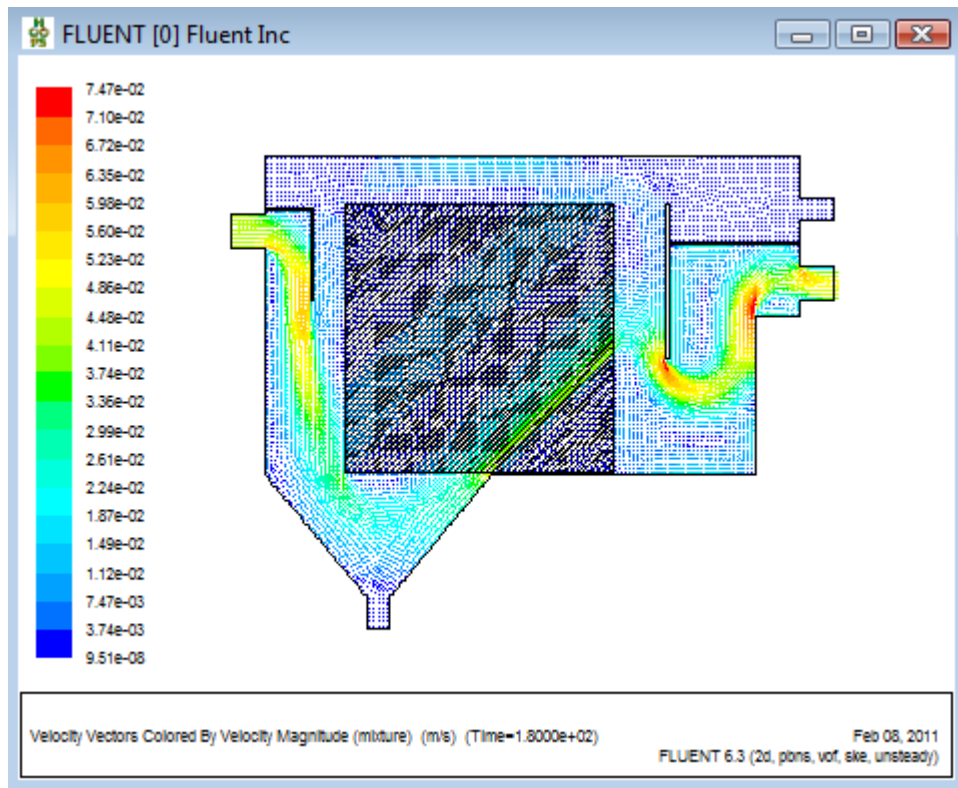
Gambar 4.15 Gambar contours pressure coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 180.



Gambar 4.16 Gambar contours pressure coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 180.

Gambar 4.14, 4.15, 4.16 menunjukkan counturs pressure pada tiap jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch pada detik ke 180. Pada Gambar 4.14, 4.15 dan 4.16 menunjukkan counturs pressure sama pada saat memasuki coalescer tetapi pada saat memasuki media flopak terjadi perbedaan pressure pada sekat 1 inch pressure lebih kecil dari pada sekat 1.2 inch dan 1.5 karena jarak sekatnya lebih kecil dan pada sisi outlet air terjadi perbedaan counturs pressure.

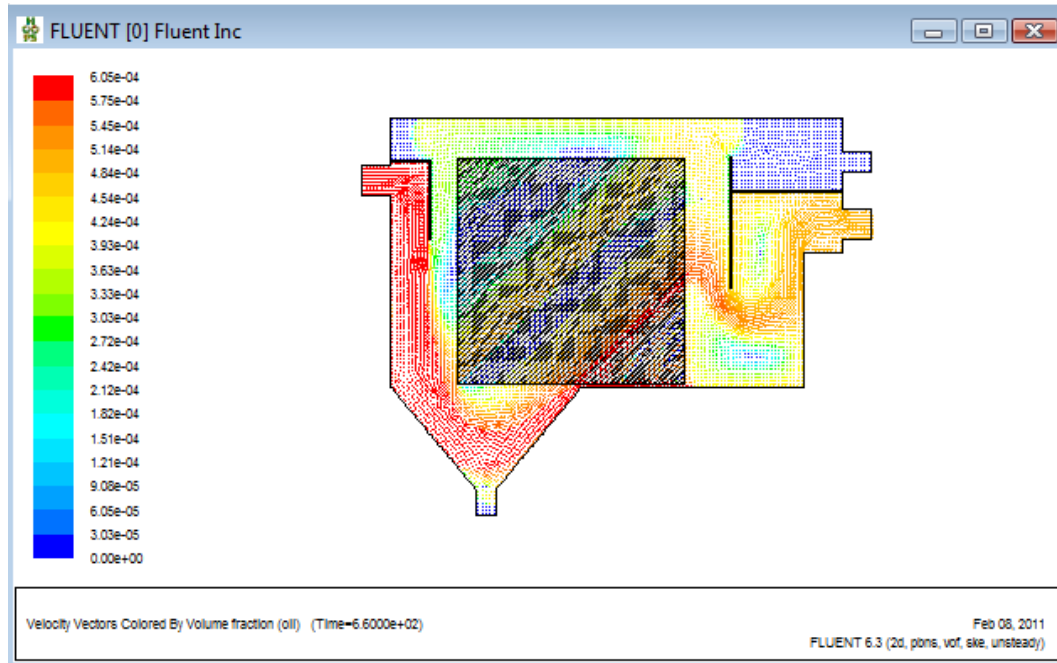
4.2.3 Velocity Vectors Inlet



Gambar 4.17 Velocity vector di dalam coalescer pada detik ke 180 pada sekat 1 inch.

Gambar 4.17 menunjukkan vector kecepatan fluida dalam tanki coalescer dimana terlihat kecepatan maksimum dapat mencapai 0.0747 m/s, kecepatan tinggi terjadi pada sisi inlet, sisi outlet air. Kecepatan mengalami penurunan pada sisi masuk karena terdapat diffuser yang mengarah kebawah, kemudian fluida akan melewati flopak media agar kotoran-kotoran yang terkandung dalam fluida dapat terpisah dan kotoran tersebut akan tersaring dan tertampung di tangki kotoran kemudian dikeluarkan melalui pipa kotoran, selain memisahkan menyaring kotoran flpak media berfungsi untuk melaminarkan aliran fluida guna untuk mempercepat pemisahan fluida.

4.2.4 Velocity Vectors Volume Fraction



Gambar 4.18 Velocity vectors by volume fraction campuran minyak dan air di dalam coalescer pada detik ke 660 pada sekat 1 inch.

Gambar 4.18 menunjukkan vector kecepatan fraksi volume dengan model 2D. Pada Gambar 4.18 dilihat fenomena aliran fluida yang terjadi di dalam tangki coalescer dimana pemisahan antara air dan minyak terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan dan dibahas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi jarak sekat 1 inch, 1.2 inch dan 1.5 inch di dalam coalescer didapatkan hasil yaitu jarak sekat 1 inch mendapatkan hasil kandungan minyak yang lebih kecil dibandingkan jarak sekat 1.2 inch dan 1.5 inch. Jarak sekat 1 inch mendapatkan hasil kandungan minyak sebesar 27.9 PPM dan mendekati hasil referensi sebesar 10 PPM.
2. Jarak sekat (flopak media) sangat berpengaruh pada hasil kandungan minyak yang didapatkan di dalam coalescer.

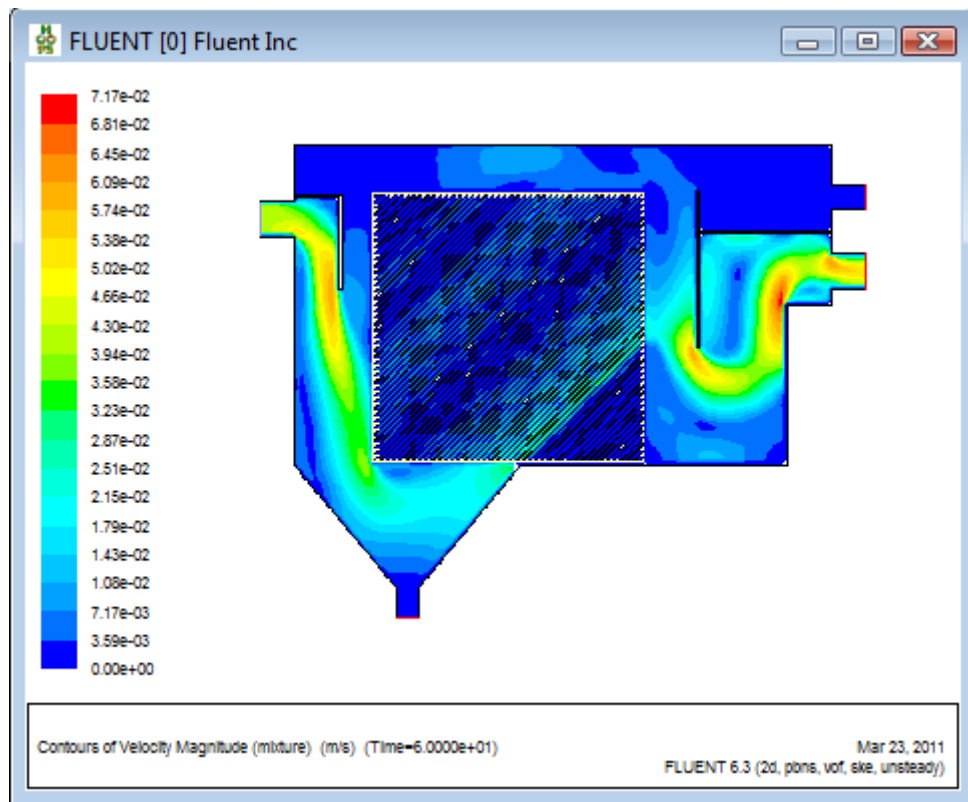
5.2 Saran

1. Simulasi ini memerlukan ketelitian pada saat membuat geometri dan meshing sehingga menghasilkan hasil yang akurat.
2. Jarak sekat (flopak media) harus diperkecil sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan referensi.

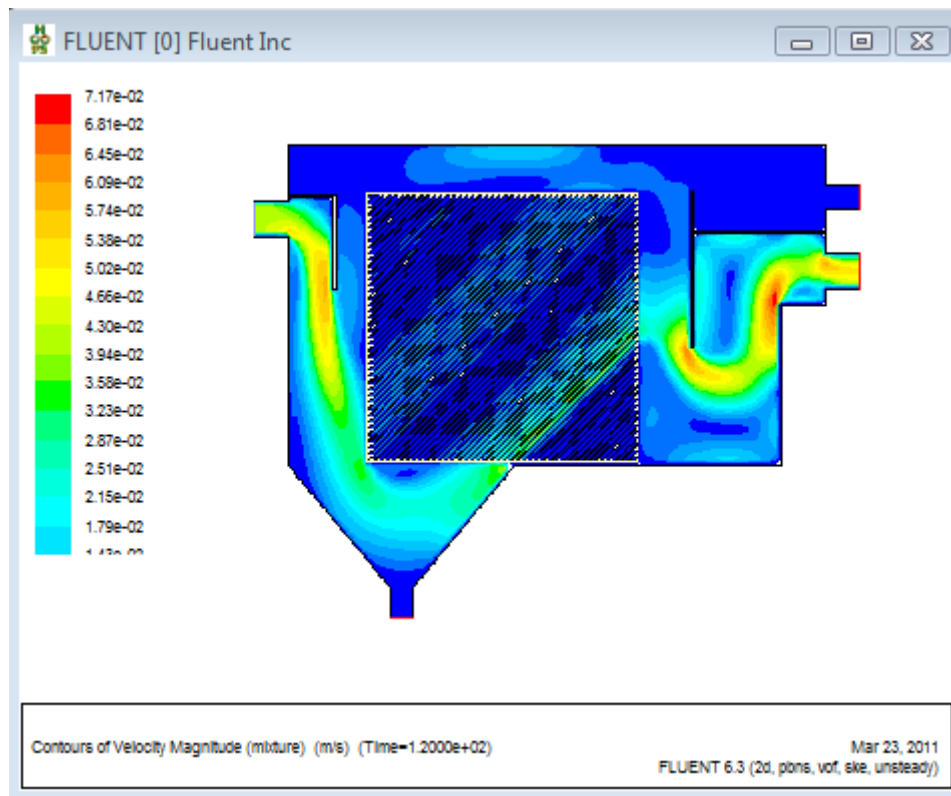
DAFTAR PUSTAKA

1. Amoanu, Daniel, *Studies of Liquid-liquid Separation in Fibre Coalescer*, LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, October 2008.
2. <http://www.scribd.com/doc/24278391/Catatan-Kuliah-Teknik-Produksi>
3. <http://www.wash-water-treatment.com/OS2007.pdf>
4. Grubich, Jeffrey, dan De Guzman Angelo, *Designing Coalescing Oil/Water Separator for Use at Army Washracks*, Engineer Research and Development Center, December 2000.
5. http://en.wikipedia.org/wiki/API_oil-water_separator
6. <http://wtcommodities.com/coalescing.php>
7. Gerhart, P. M., and Richard J. G., 1985, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA, 509-530. Tuakia, Firman, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Informatika, Bandung, 2008.
8. Fox, R. W., and Alan, T. M. D., 1994, *Introduction to Fluid Mechanics*, Fourth Edition, SI Version, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2-33.
9. FLUENT, Inc, *Manual FLUENT Documentation*, FLUENT, Inc, 1998.
10. Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H., 2008, *Fluid Dynamics*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta, 111-473.
11. Versteeg, H. K., and Malalasakera, W., 1995, *an Introduction to Computational Fluid Dynamic*, Longman Scientific & Technical, England, 11-25.
12. Mohr. Kirby S. *Introduction to Separation of Oil and Water*, Oklahoma, USA, 2001-2008.
13. Mohr. Kirby S. *How Oil Water Separator Work and How To Be Use Them*, 2001-2010.
14. Tuakia, Firman, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Informatika, Bandung, 2008.

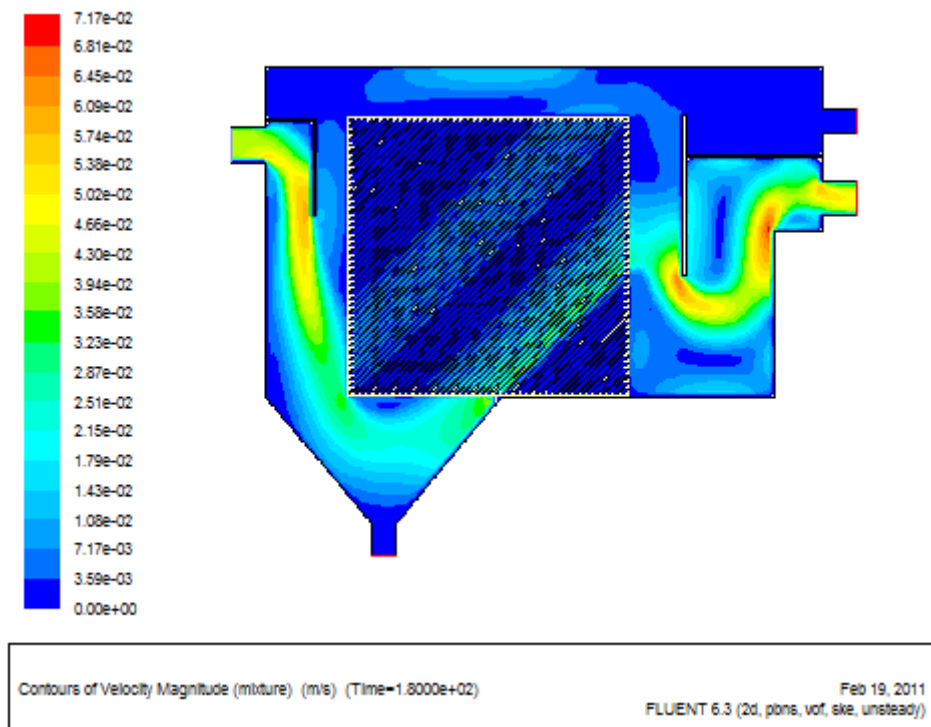
LAMPIRAN



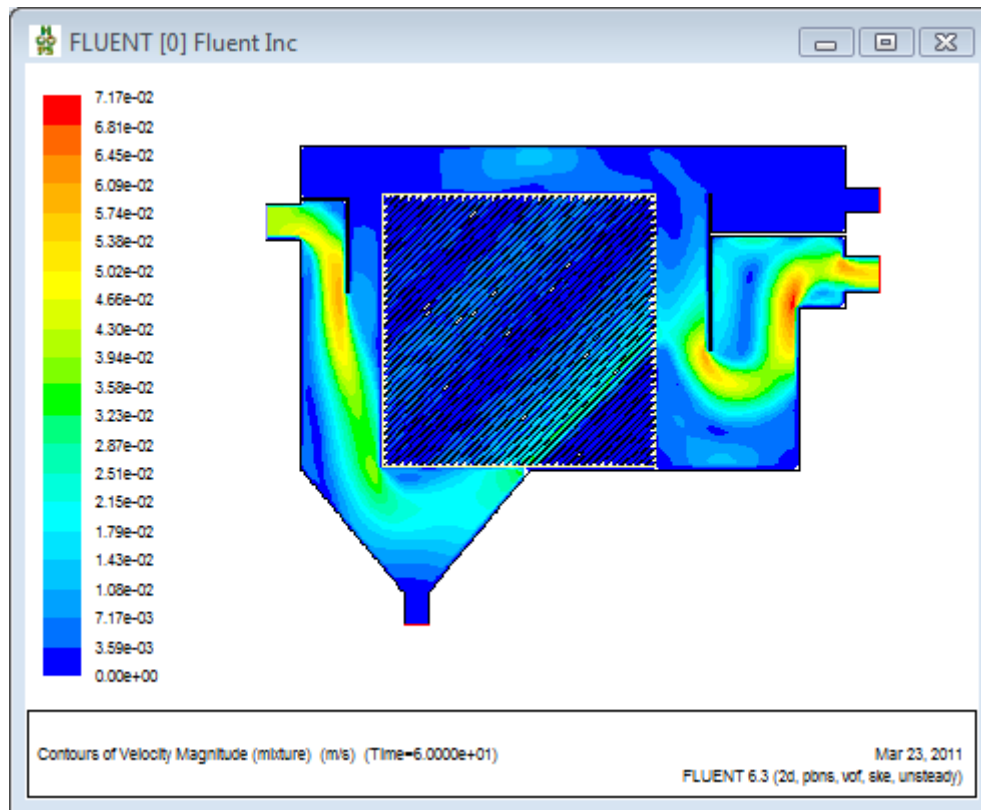
Gambar A1. Gambar contours velocity coalescer sekat 1 inch pada detik ke 60.



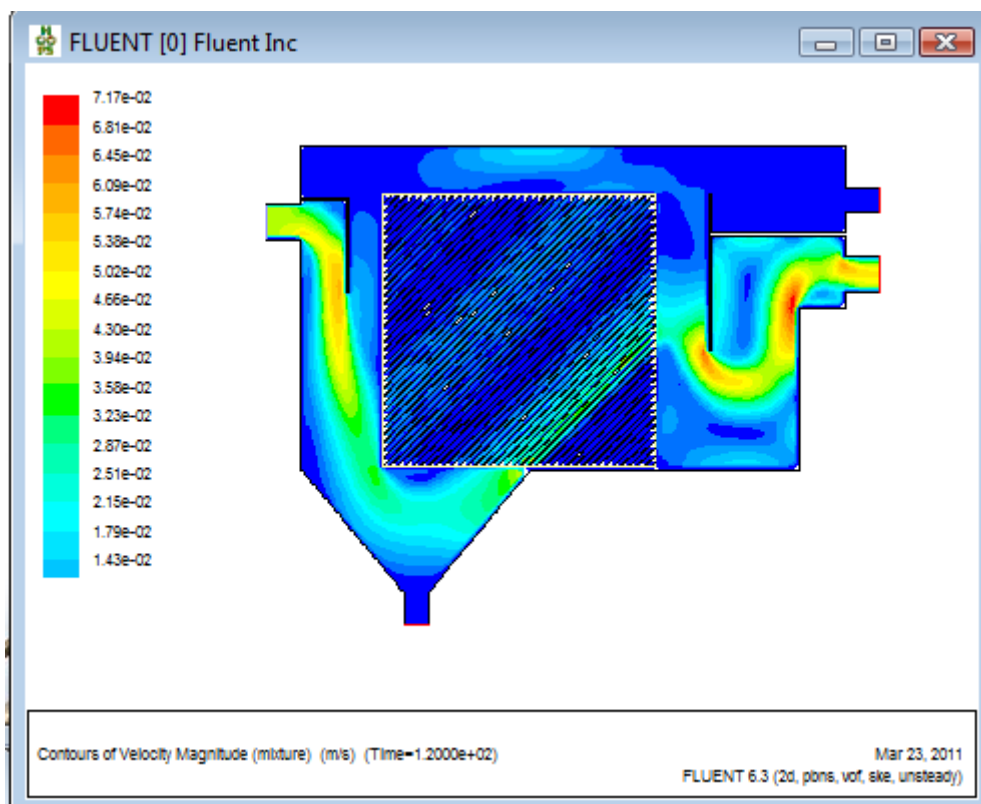
Gambar A2. Gambar contours velocity coalescer sekat 1 inch pada detik ke 120.



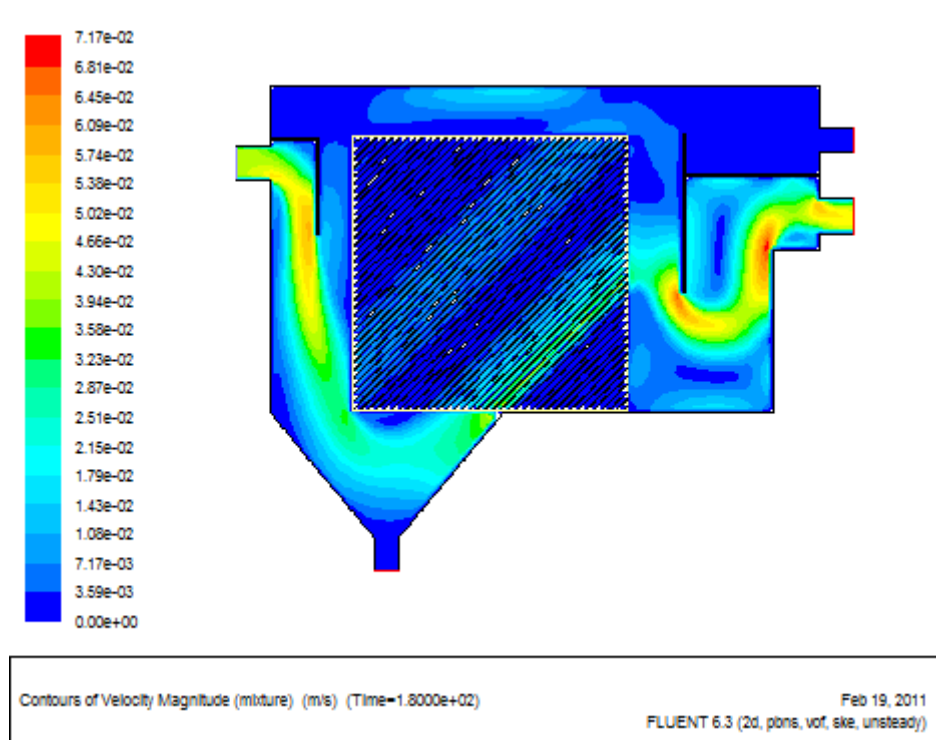
Gambar A3. Gambar contours velocity coalescer sekat 1 inch pada detik ke 180.



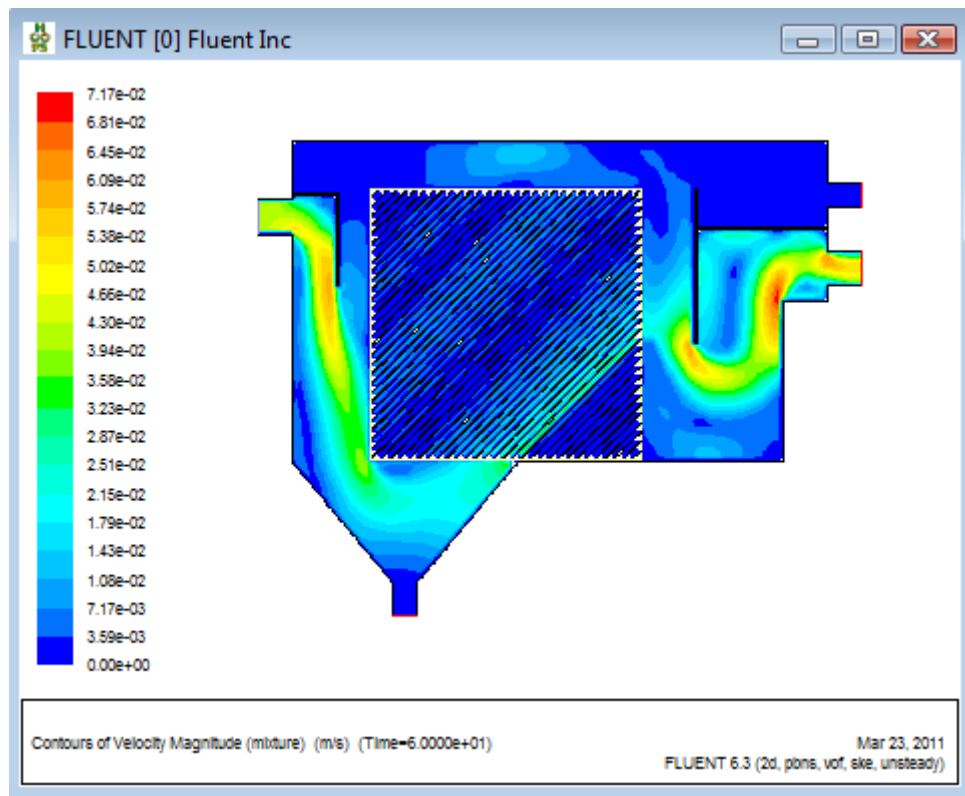
Gambar A4. Gambar contours velocity coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 60.



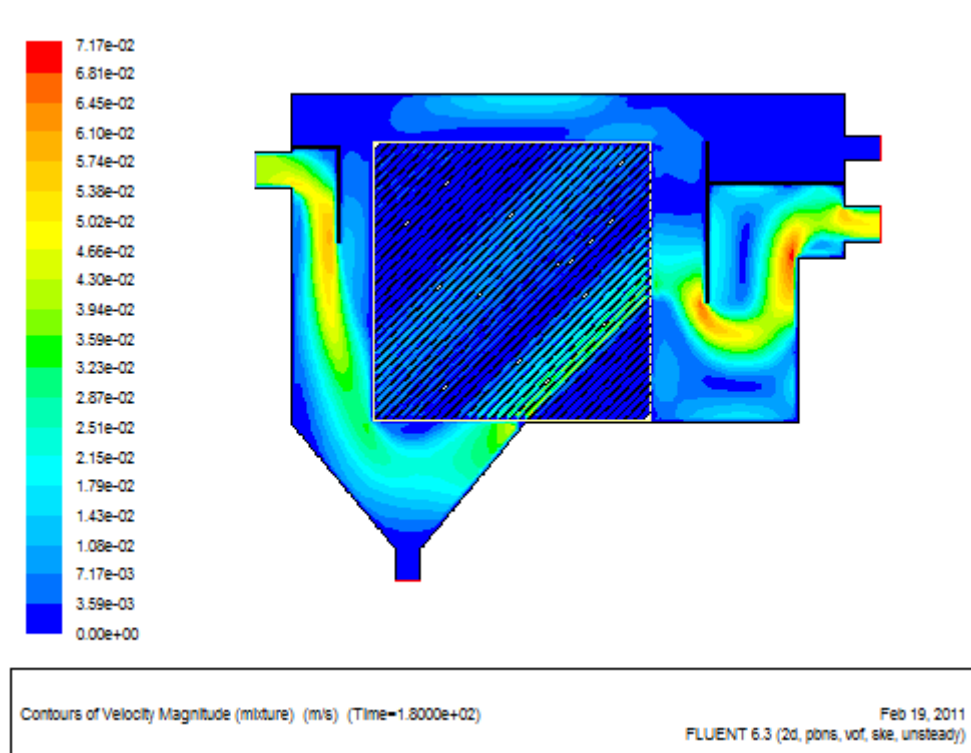
Gambar A5. Gambar contours velocity coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 120.



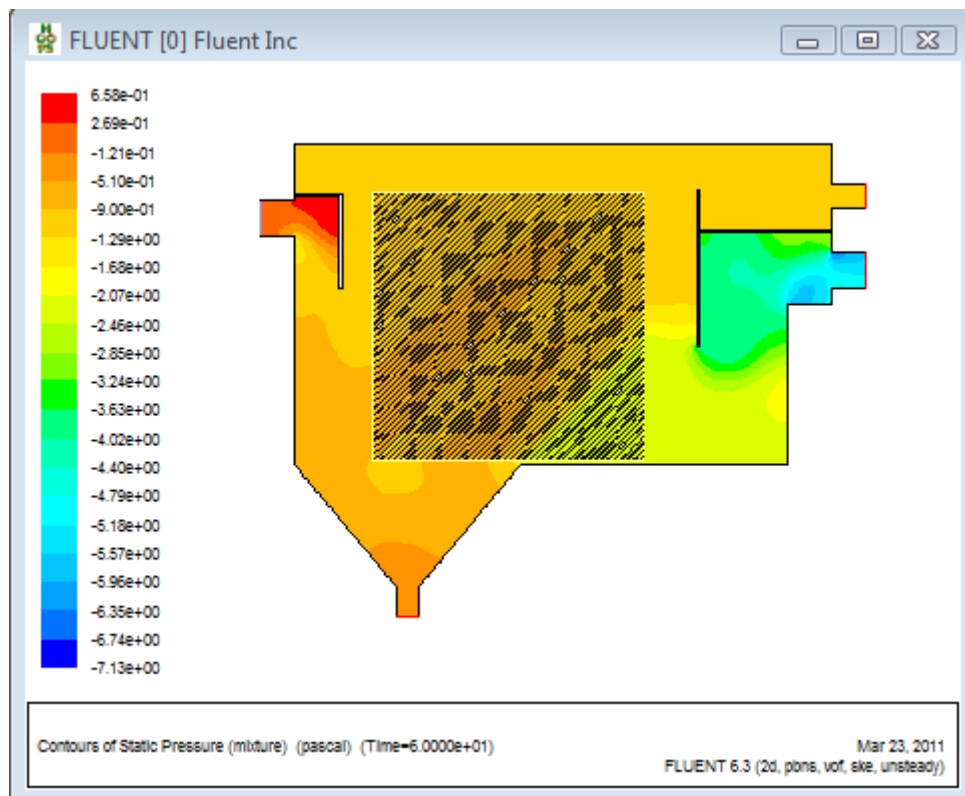
Gambar A6. Gambar contours velocity coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 180.



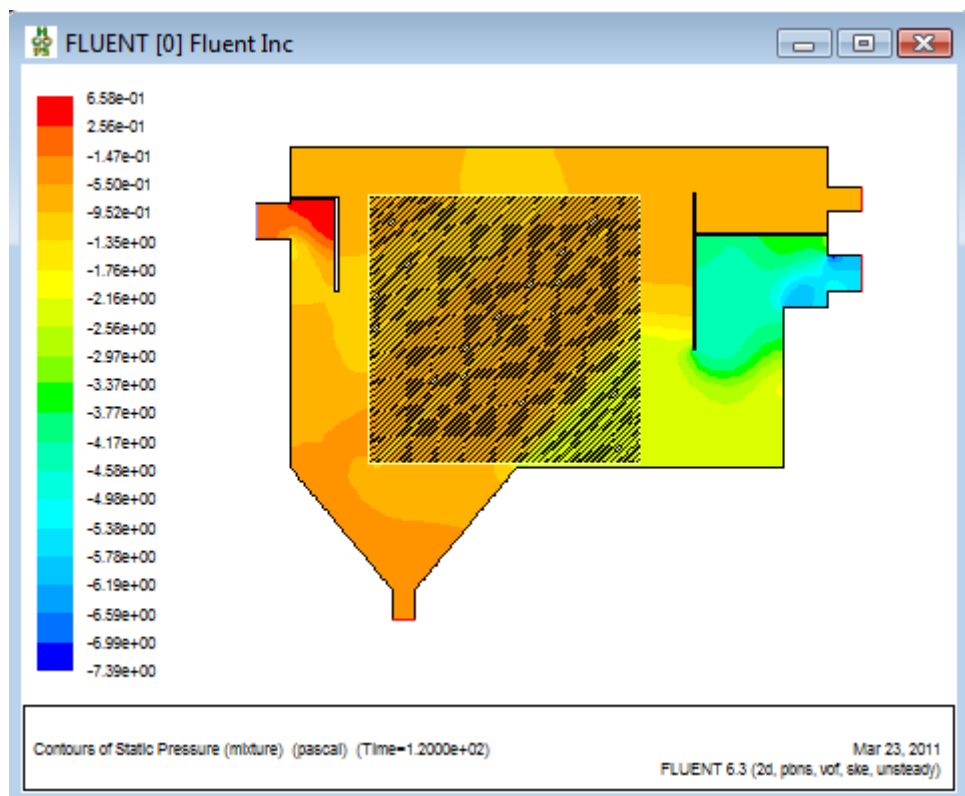
Gambar A7. Gambar contours velocity coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 60.



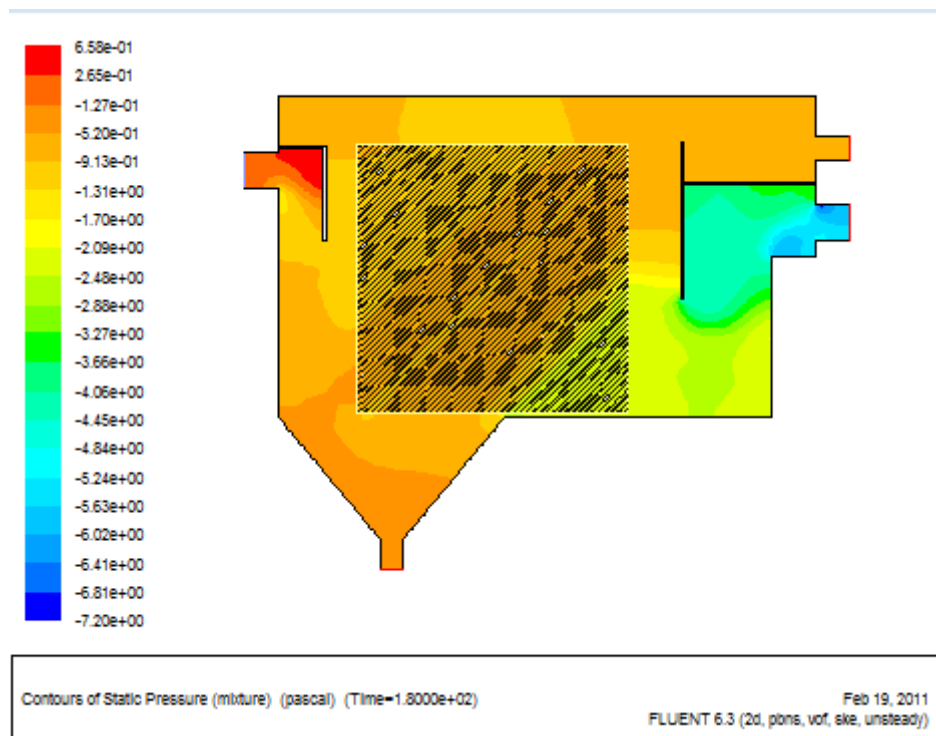
Gambar A8. Gambar contours velocity coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 180.



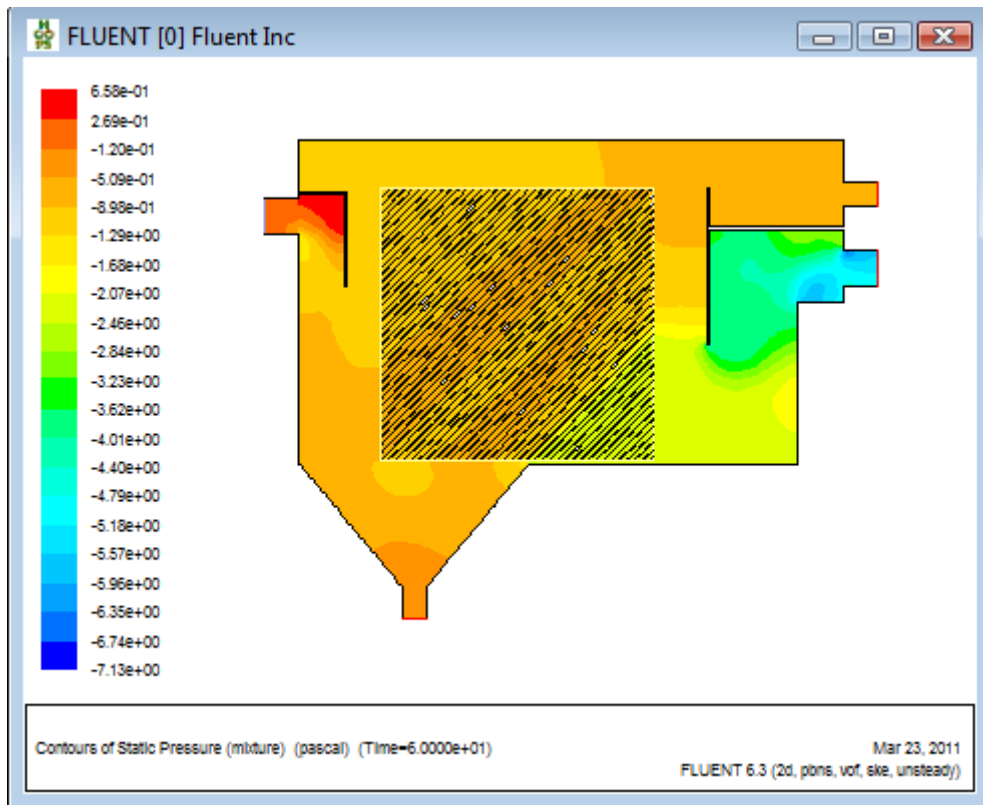
Gambar A9. Gambar contours pressure coalescer sekat 1 inch pada detik ke 60.



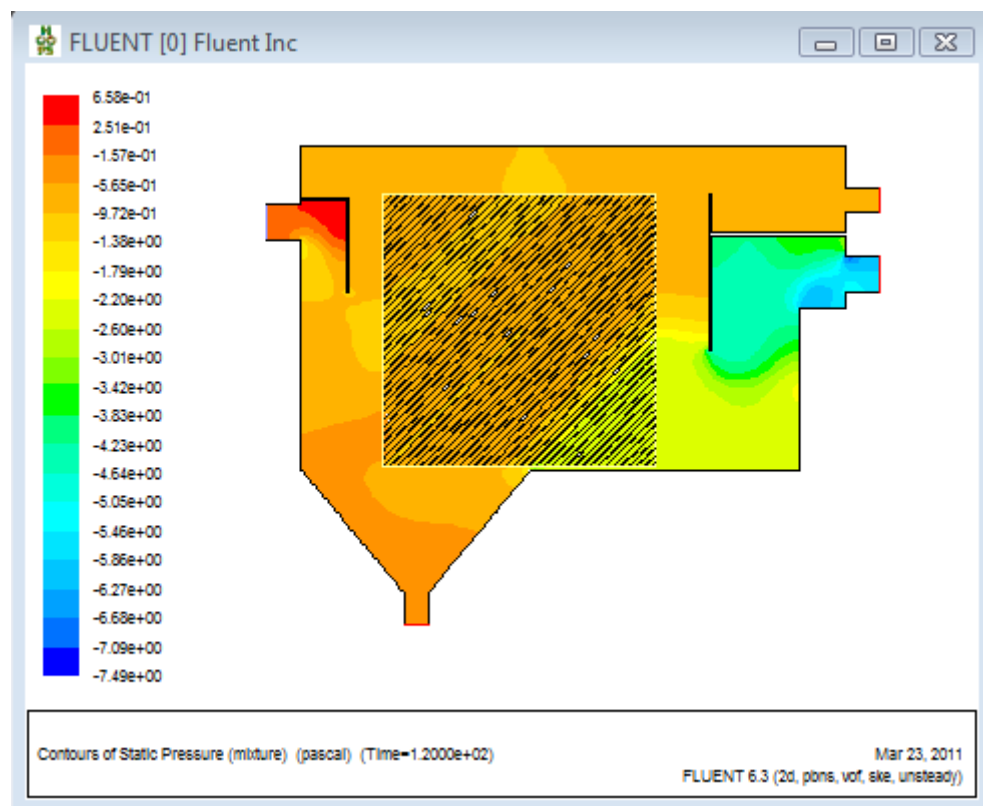
Gambar A10. Gambar contours pressure coalescer sekat 1 inch pada detik ke 120.



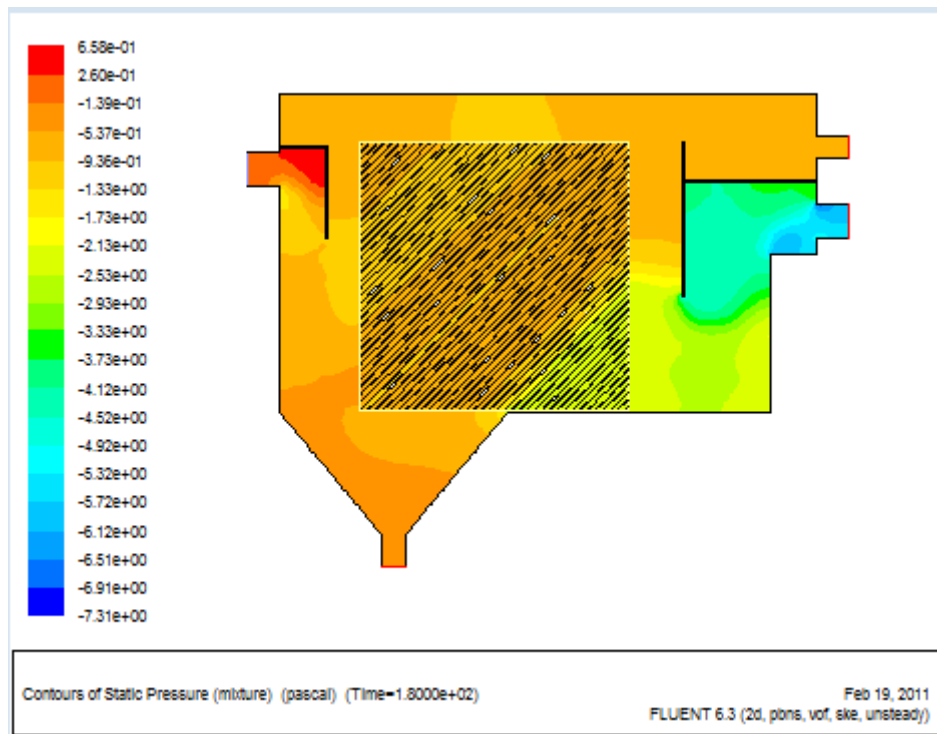
Gambar A11. Gambar contours pressure coalescer sekat 1 inch pada detik ke 180.



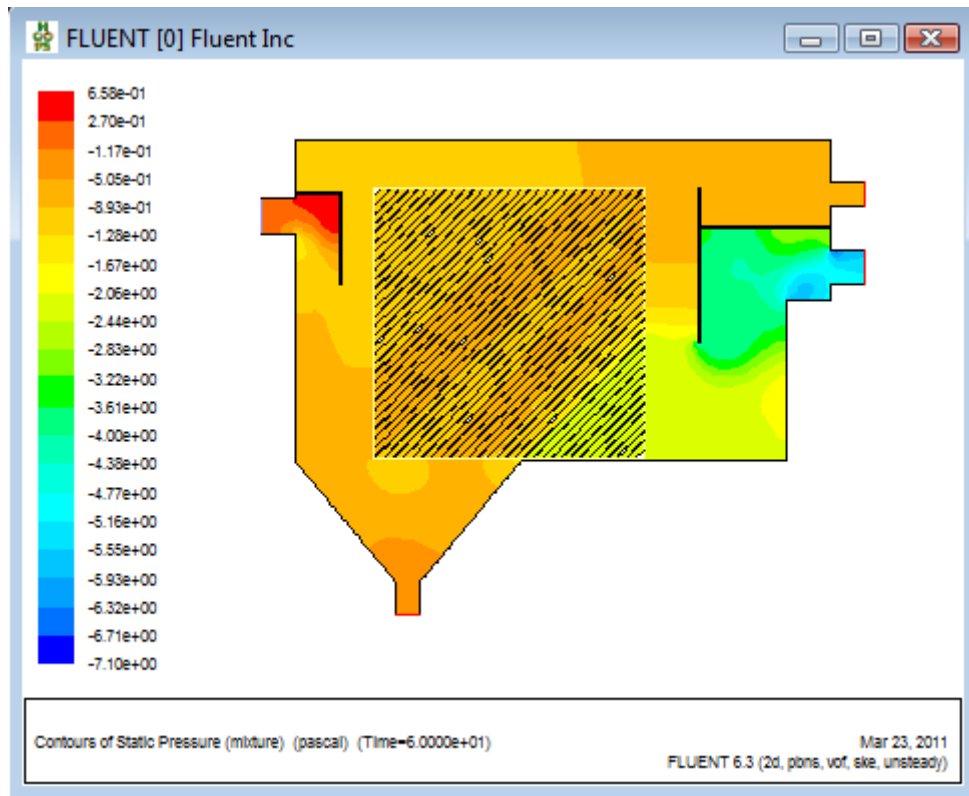
Gambar A12. Gambar contours pressure coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 60.



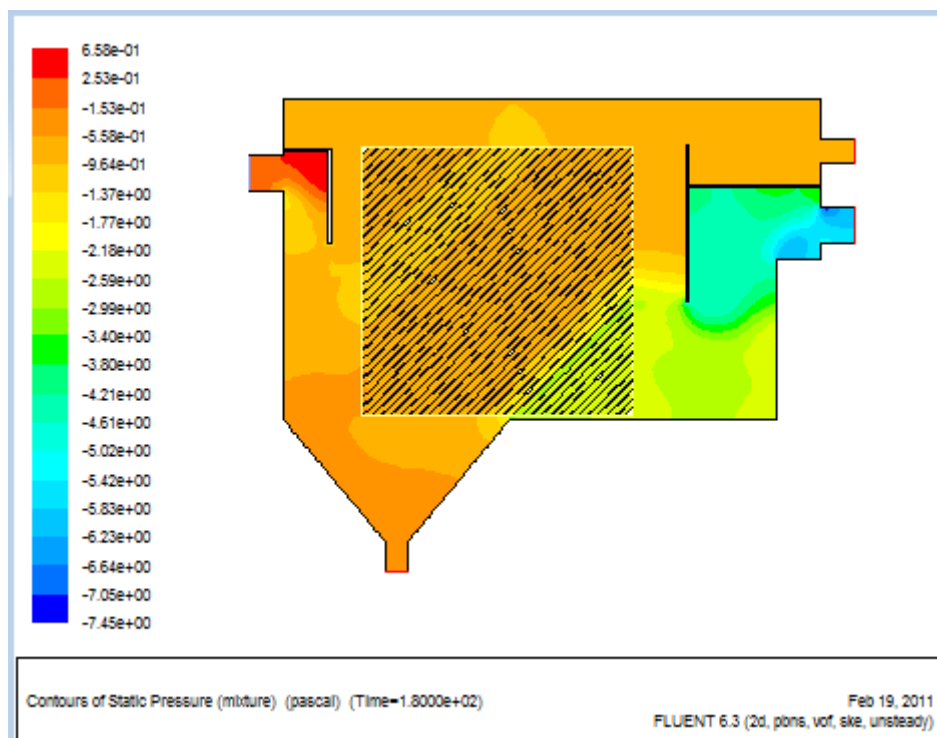
Gambar A13. Gambar contours pressure coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 120.



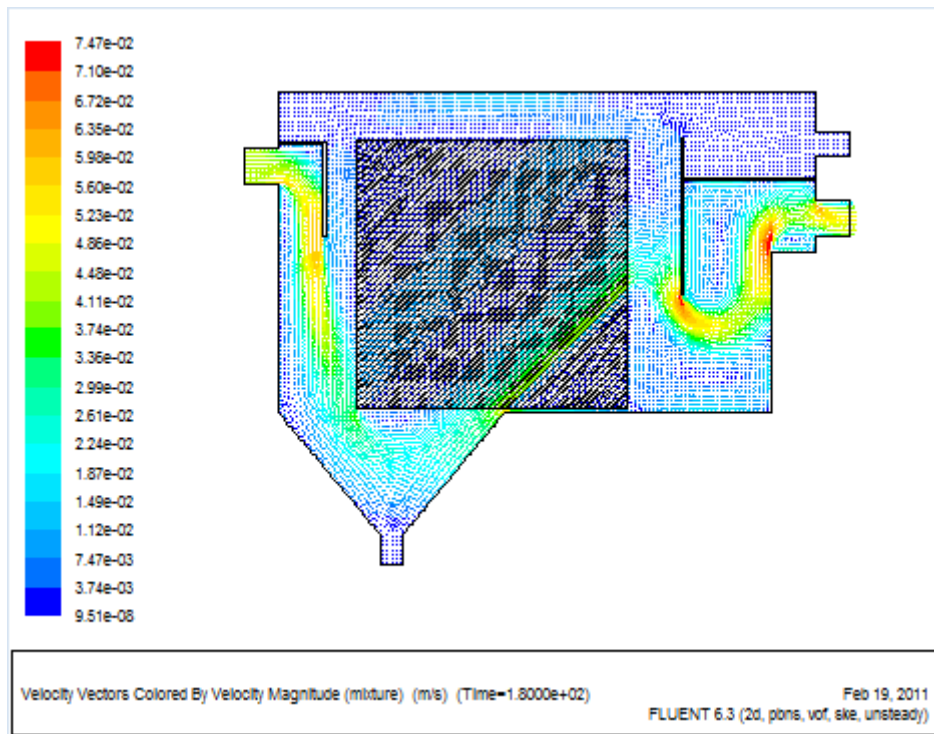
Gambar A14. Gambar contours pressure coalescer sekat 1.2 inch pada detik ke 180.



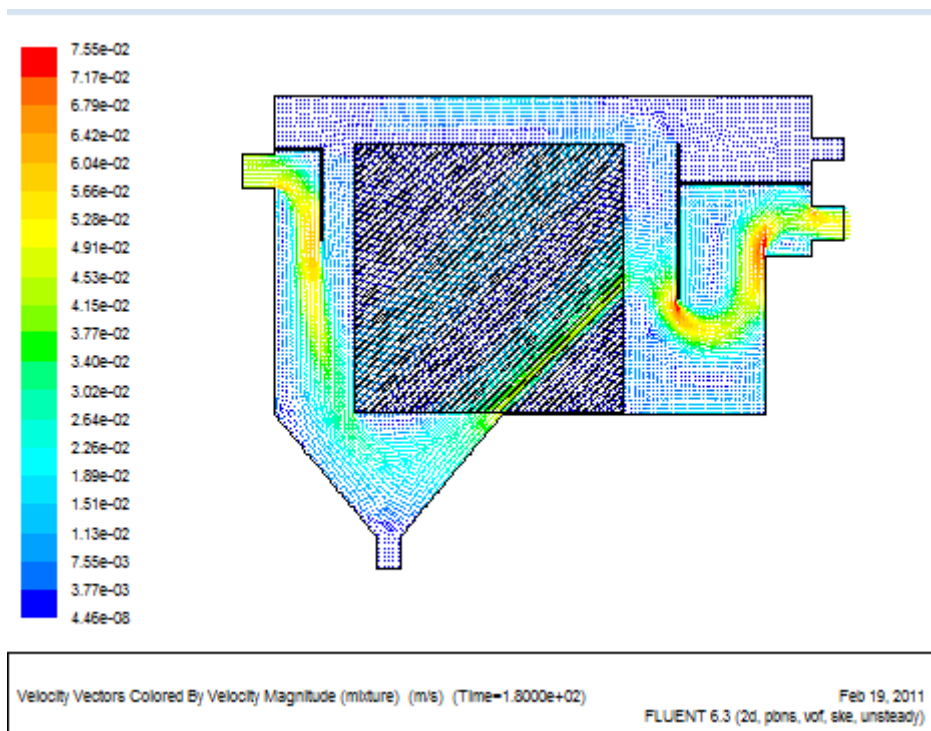
Gambar A15. Gambar contours pressure coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 60.



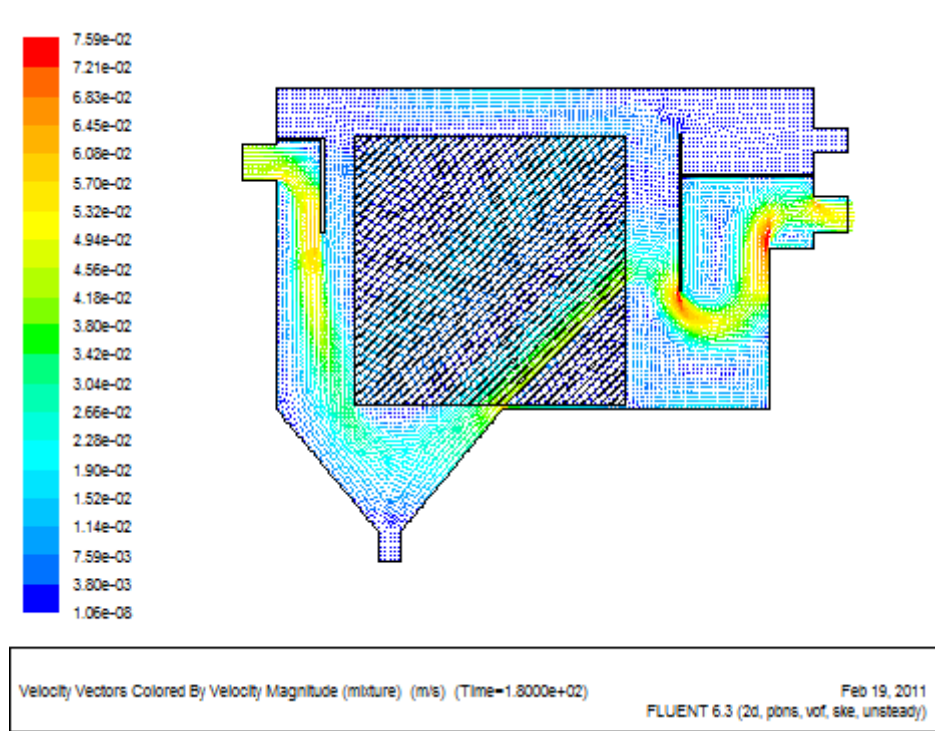
Gambar A16. Gambar contours pressure coalescer sekat 1.5 inch pada detik ke 180.



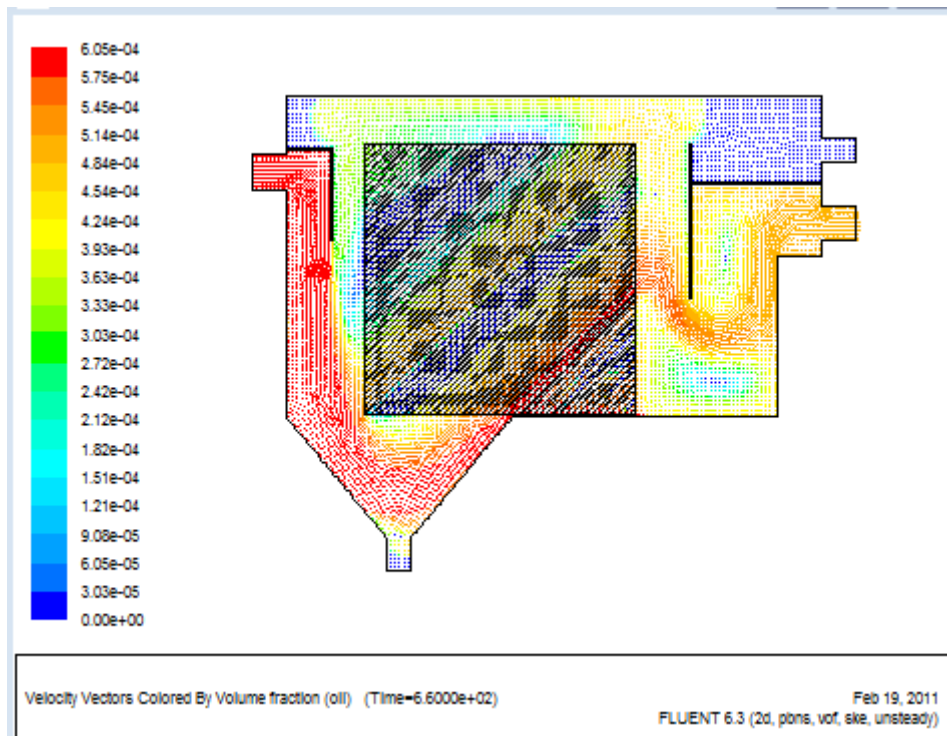
Gambar A17. Velocity vector di dalam coalescer pada detik ke 180 pada sekat 1 inch.



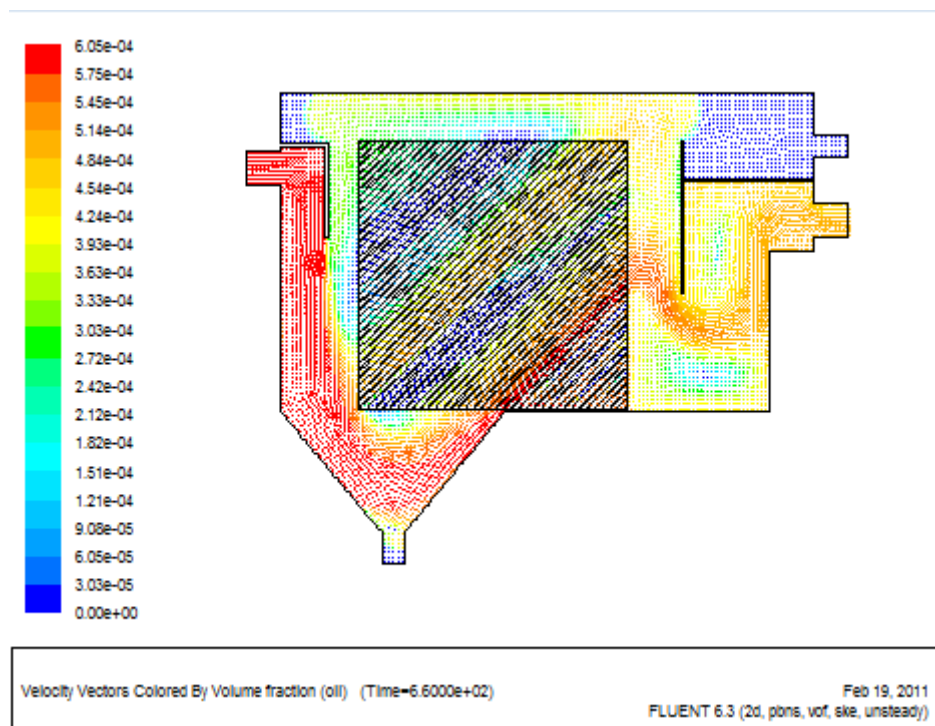
Gambar A18. Velocity vector di dalam coalescer pada detik ke 180 pada sekat 1.2 inch.



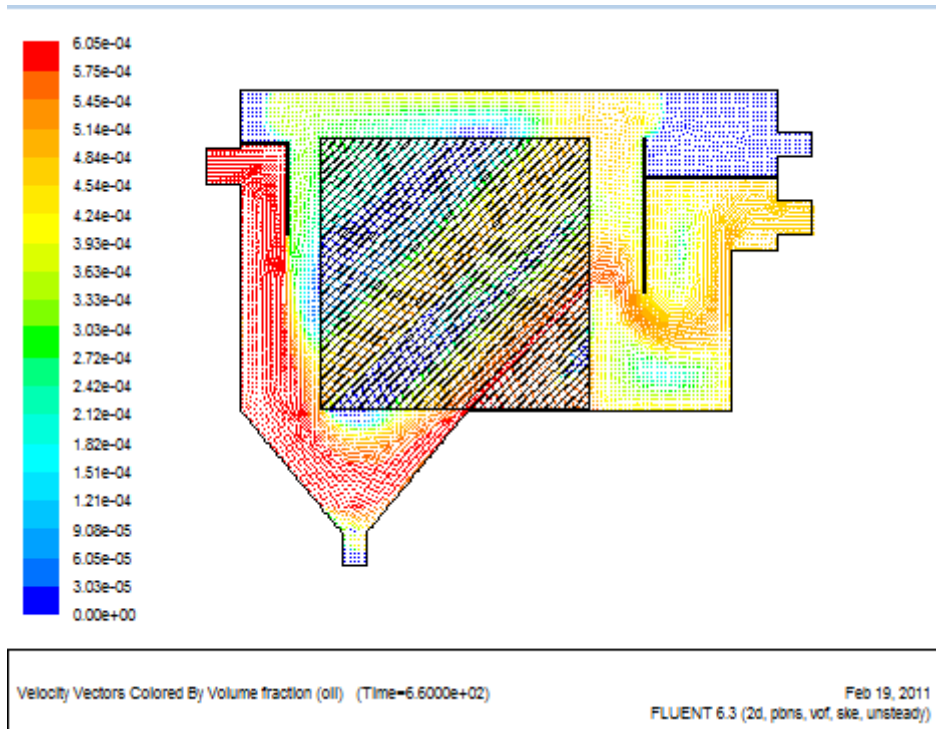
Gambar A19. Velocity vector di dalam coalescer pada detik ke 180 pada sekat 1.5 inch.



Gambar A20. Velocity vectors by volume fraction campuran minyak dan air di dalam coalescer pada detik ke 660 pada sekat 1 inch.



Gambar A21. Velocity vectors by volume fraction campuran minyak dan air di dalam coalescer pada detik ke 660 pada sekat 1.2 inch.



Gambar A22. Velocity vectors by volume fraction campuran minyak dan air di dalam coalescer pada detik ke 660 pada sekat 1.5 inch.